

## **Suplementação com Xilanase de Regimes Alimentares à base de Milho e Soja para Frangos de Carne**

**Ana Rita Almeida Mendes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Zootécnica – Produção Animal**

Orientador: Doutora Maria Madalena dos Santos Lordelo, Professora Auxiliar do  
Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

**Júri:**

Presidente: Doutor João Pedro Bengala Freire, Professor Catedrático do Instituto Superior  
de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Carlos Mendes Godinho Andrade Fontes, Professor Associado da  
Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa

Doutora Maria Madalena dos Santos Lordelo, Professora Auxiliar do Instituto  
Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## **Agradecimentos**

A Deus por me trazer até aqui.

À Professora Doutora Madalena Lordelo Redford pelo seu apoio e disponibilidade.

Aos meus colegas Bruno Correia, Inês Vela, Sandra Morais e Carlos Martins, pela companhia e entreaajuda ao longo de todos estes anos.

Ao Jorge e à Sara, pela ajuda, incentivo e apoio.

Aos meus pais.

Obrigada!

---

## Resumo

O milho e a soja, alimentos considerados de baixa viscosidade e elevada qualidade, contêm alguns polissacáridos não amiláceos, podendo aumentar ligeiramente a viscosidade dos conteúdos digestivos e diminuir os índices zootécnicos dos frangos de carne. A suplementação enzimática pode suavizar estes efeitos. Neste estudo utilizaram-se quatro tratamentos (AE – Alta Energia; AEX – Alta Energia + Enzima; BE – Baixa Energia; BEX – Baixa Energia + Enzima) em regimes à base de milho e soja de 3040 kcal e de 2941 kcal de energia metabolizável por kg de ração, para avaliar o efeito do uso de uma xilanase comercial. A mortalidade, a quantidade de alimento ingerido, o peso vivo, o ganho médio de peso e as dimensões dos órgãos do sistema digestivo foram registadas.

Observou-se uma melhoria do peso vivo e do ganho médio de peso para os animais dos tratamentos BEX. Verificou-se uma diminuição do índice de conversão dos animais dos tratamentos BEX quando comparados com os animais dos tratamentos BE.

Os resultados indicam que esta enzima pode ter um efeito positivo nos frangos de carne alimentados com rações à base de milho e soja, principalmente em regimes de baixa energia.

**Palavras-chave:** milho, soja, índices zootécnicos, polissacáridos não amiláceos, suplementação enzimática, xilanase

## Abstract

Maize and soya, feeds considerer of low viscosity and high quality, contain some non-starch polysaccharides and these may slightly raise the digesta's viscosity and decrease broiler performance. Enzyme supplementation may attenuate these effects. In the present study four treatments were used (AE – High Energy; AEX – High Energy + Enzyme; BE – Low Energy; BEX – Low Energy + Enzyme) in maize-soya diets with 3040 kcal and 2941 kcal of metabolizable energy per kg of feed, to evaluate the effect of the use of a commercial xylanase. Mortality, amount of feed ingestion, body weight, average body weight gain and dimensions of the digestive tract organs were registered.

An improvement in body weight and in body weight gain was observed for the animals of the BEX treatment. There was a decrease in the feed conversion ratio for the animals of the BEX treatment when compared to the animals of the BE treatment.

Results indicate that this enzyme may have a positive effect in broilers fed maize-soya diets, mainly in low energy treatments.

**Keywords:** maize, soya, broilers performance, non-starch polysaccharides, enzyme supplementation, xylanase

---

## Extended Abstract

In the last decades, the use of exogenous enzymes in animal feeding has become increasingly important. The use of enzymes may suppress the animals' deficiencies in endogenous enzymes, and may increase performance by reducing digesta's viscosity. Maize and soya contain some non-starch polysaccharides which may slightly increase the viscosity of the digesta in monogastric animals. The nutritional level of these feeds varies according to their content in non-starch polysaccharides.

Non-starch polysaccharides are complex structural carbohydrates in the cereals endosperm and can be soluble or insoluble. The presence of soluble non-starch polysaccharides causes an increase of mucus secretion and digesta's viscosity and a decrease of the contact between enzymes and nutrients, which are encapsulated within the cell walls, causing less nutrients and energy to be available for broilers. On the other hand, hydrolyze of the insoluble non-starch polysaccharides fraction may improve the colonization by benefic bacteria as well as liberate nutrients, mainly protein and lipids.

Arabinoxylans are non-starch polysaccharides present in cell walls of various cereal grains. They have a complex chemical structure, made of arabinose and xylose, which is responsible for an increased viscosity in the digestive contents.

Monogastric animals do not produce the necessary enzymes to degrade arabinoxylans therefore, and in order to improve the animals' performance, exogenous enzymes such as xylanase may be used. Xylanase may decrease the viscosity, release nutrients from the aleurone layer, have a positive effect on intestinal bacterial and, as a consequence, increase the digestibility and the amount of nutrients available.

Although maize is considered an important source of energy and soya an important source of protein, the use of enzymes may still help improve performance. Studies have shown that even this feed ingredients contain some antinutrient elements, such as phytic acids, arabinoxylans and other non-starch polysaccharides.

The objective of this study is to evaluate if xylanase supplementation of maize-soya based diets significantly improves animal performances. We hypothesize that there is a potential niche for the use of this enzyme in maize-soya diets with a great economic benefit.

One hundred and sixty male Ross 308 chicks were fed a maize-soya based diet. They were divided into four treatments with forty chicks each: high energy - not supplemented diet (AE), high energy - supplemented diet (AEX), low energy - not supplemented diet (BE) and low energy - supplemented

---

diet (BEX). The high energy diets (AE and AEX) had 3040 kcal of metabolizable energy/kg of feed and the low energy diets (BE and BEX) had 2941 kcal of metabolizable energy/kg of feed. The supplemented treatments received 100 grams of a commercial xylanase per ton of complete feed.

Mortality was registered daily, feed consumption and weight were recorded weekly. At the end of the trial, at 28 days old, 10 broilers of each treatment were killed, and the gastric compartments crop, gizzard, liver, pancreas, duodenum, jejunum, ileum and ceca, were measured and weighed.

The data were subjected to ANOVA according to the general linear models procedure for a two-factor analysis. Duncan's multiple-comparison procedure (SAS Institute, 2001) was used to detect significant differences ( $P < 0,05$ ).

Results showed that broilers fed a low energy diet supplemented with xylanase had a higher body weight than those fed with the same low energy diet but not supplemented. The animals that were fed a high energy diet, supplemented or not supplemented, showed no differences in body weight between them. Although not significantly different, numerical differences were observed in the feed conversion ratio of low energy diets and BEX treatment showed an 12,10% improvement when compared to BE treatment in the period between 21 and 28 days. This numerical difference may reveal itself of high commercial value. No statistical significant differences were observed in the feed ingestion.

The liver weight was significantly influenced by the interaction between the feed energy level and the enzyme xylanase but no other statistical significant differences were observed in the weight or size of the gastric compartments.

The improvements observed in body weight, body weight gain and feed conversion ratio in the animals subjected to BEX treatment demonstrated that this enzyme appears to have an effect on broilers performance, mainly when fed with low energy maize-soya based diets, but more studies are necessary to reach a conclusion and ensure this enzymatic supplementation commercial value.

---

## Índice

Agradecimentos .....	0
Resumo.....	2
Abstract .....	3
Extended Abstract .....	4
Índice .....	6
Índice de Figuras.....	8
Índice de Quadros .....	10
Índice de Abreviaturas .....	12
1. Introdução .....	13
2. Revisão Bibliográfica.....	14
2.1 Sistema Digestivo dos Frangos .....	14
2.2 Órgãos e Glândulas do Sistema Digestivo .....	15
2.2.1 Órgãos do Sistema Digestivo.....	15
2.2.2 Glândulas do Sistema Digestivo .....	19
2.3 Absorção de Nutrientes.....	19
2.4 Necessidades Nutricionais.....	20
2.5 Fontes Energéticas e Proteicas na Alimentação de Frangos de Carne.....	21
2.5.1 Milho .....	22
2.5.2 Bagaço de Soja .....	25
2.6 Fatores Antinutricionais .....	25
2.6.1 Polissacáridos Não Amiláceos e os Seus Efeitos .....	26
2.6.1.1 Polissacarídeos Não Amiláceos no Milho .....	32
2.6.1.2 Polissacarídeos Não Amiláceos no Bagaço de Soja .....	34
2.6.2 Arabinoxilanos.....	38
2.7 Enzimas.....	38
2.7.1 Objetivos do Uso de Enzimas em Alimentação Animal.....	41

---

2.7.2	Fatores que Afetam a Atividade Enzimática .....	43
2.7.3	Xilanases.....	44
2.7.4	Estudos com Xilanase .....	44
2.8	Objetivo.....	48
3.	Materiais e Métodos .....	49
3.1	Preparação do Alimento Concentrado.....	49
3.2	Aves .....	50
3.3	Instalações.....	50
3.4	Tratamentos e Parâmetros.....	52
3.4.1	Cálculos: Performances de Crescimento.....	53
3.5	Análise Estatística .....	53
4.	Resultados .....	54
4.1	Performances Zootécnicas .....	54
4.1.1	Peso Vivo .....	54
4.1.2	Ganho Médio de Peso .....	55
4.1.3	Alimento Ingerido.....	56
4.1.4	Índice de Conversão .....	57
4.1.5	Mortalidade.....	57
4.2	Dimensões dos Órgãos do Sistema Digestivo .....	58
4.2.1	Comprimento Relativo dos Órgãos do Sistema Digestivo.....	58
4.2.2	Peso Relativo dos Órgãos do Sistema Digestivo .....	59
5.	Discussão .....	61
6.	Conclusões.....	68
	Referências Bibliográficas .....	69

---



---

## Índice de Figuras

Fig. 1 – Sistema digestivo das aves;.....	14
Fig. 2 – Parte anterior do aparelho digestivo de um frango; (Adaptado de: Muedra, 1998) .....	16
Fig. 3 – Imagem representativa das vilosidades do intestino delgado; (Adaptado de: <a href="http://www.arthursclipart.org/medical/digestive/villi%203.gif">http://www.arthursclipart.org/medical/digestive/villi%203.gif</a> ) .....	17
Fig. 4 – Grão de milho; (Adaptado de: <a href="http://www.mejoravegetal.criba.edu.ar">http://www.mejoravegetal.criba.edu.ar</a> ) .....	23
Fig. 5 – Teor de aminoácidos essenciais em vários cereais; (Adaptado de: McDonald <i>et al.</i> , 2002) .....	24
Fig. 6 – Classificação dos hidratos de carbono com base no seu peso molecular; .....	26
Fig. 7 – Constituintes dos PNA; (Adaptado de: Choct, 1997) .....	27
Fig. 8 – Relação entre a digestibilidade de uma ração e a densidade populacional microbiana no intestino delgado; (Adaptado: de Bedford, 2000) .....	29
Fig. 9 – Estruturas e PNA presentes nas paredes celulares de um grão de cereal; (Adaptado de: Ott, 2005, citando Knudsen, 2001) .....	31
Fig. 10 – Efeito dos PNA e das enzimas que os degradam; (Adaptado de: Cousins, 1999, citando Simon, 1998) .....	32
Fig. 11 – Relação entre a energia metabolizável (%) e o conteúdo de PNA (%) dos cereais; (Adaptado de: Cousins, 1999) .....	33
Fig. 12 - Esquema ilustrativo da formação de um oligossacárido a partir de dois monossacáridos, com formação de uma ligação glicosídica; (Fonte: <a href="http://isabelle.math.ist.utl.pt">http://isabelle.math.ist.utl.pt</a> ) .....	36
Fig. 13 – Estrutura molecular dos arabinoxilanos; (Fonte: <a href="http://www.scientificpsychic.com/">http://www.scientificpsychic.com/</a> ) .....	38

---

Fig. 14 – Imagem representativa da ação do modelo chave-fechadura; (Adaptado de: <a href="http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html">http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html</a> ).....	40
Fig. 15 – Imagem representativa da ação do modelo de encaixe/ajuste induzido; (Adaptado de: <a href="http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html">http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html</a> ).....	41
Fig. 16 – Imagem representativa do mecanismo de ação enzimática, com interação entre enzima e substrato; (Adaptado de: <a href="http://cvquimica.blogspot.com">http://cvquimica.blogspot.com</a> ) .....	41
Fig. 17 – Padrão de dispersão dos pintos sob a lâmpada de aquecimento; (Adaptado de: Aviagen, 2009).....	51
Fig. 18 – Planificação da sala de ensaios: número da gaiola e tratamento. ....	52

---

## Índice de Quadros

Quadro 1 – Produção de milho na Europa, entre 2008 e 2012, em toneladas; (Dados de: FAOSTAT).....	22
Quadro 2 – Produção de soja na Europa, entre 2008 e 2012, em toneladas; (Dados de: FAOSTAT).....	25
Quadro 3 – Teor de PNA no milho; (Adaptado de: Cardoso <i>et al.</i> , 2009; Rev. Ali. Animal – N.º 19, 2000) .....	32
Quadro 4 – Composição dos PNA do milho; (Adaptado de: <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ).....	33
Quadro 5 – Teor de PNA e de arabinoxilanos em diferentes cereais (% MS); (Adaptado de: Choct, 1997 e 2001) .....	34
Quadro 6 – PNA Totais do bagaço de soja (% MS); (Adaptado de: Bertechini <i>et al.</i> , 2007; Cardoso, 2009; Rev. Ali. Animal – N.º 19, 2000)...	35
Quadro 7 – Composição dos PNA do bagaço de soja (% MS); (Adaptado de: <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> ; Choct, 1997) .....	35
Quadro 8 – Composição em arabinose e xilose, solúvel, insolúvel e total, do bagaço de soja (% MS); (Adaptado de: Choct, 1997, citando Irish & Balnave, 1993) .....	35
Quadro 9 – Conteúdo em hidratos de carbono do bagaço de soja; (Adaptado de: Coon <i>et al.</i> , 1990; Choct <i>et al.</i> , 2010) .....	37
Quadro 10 – Composição centesimal, química e energética das rações utilizadas;.....	49
Quadro 11 - Temperatura ótima para frangos Ross, com humidade relativa entre os 60 e os 70%; (Adaptado de: Aviagen, 2009).....	51
Quadro 12 – Peso vivo semanal médio dos frangos de carne (g) com diferentes tratamentos;.....	54
Quadro 13 – Ganho médio de peso dos frangos de carne (g) com diferentes tratamentos; .....	55
Quadro 14 – Quantidade média de alimento ingerido semanalmente (g) por frango de carne com diferentes tratamentos;.....	56
Quadro 15 – Índice de conversão dos frangos de carne com diferentes tratamentos; .....	57

---

---

Quadro 16 – Mortalidade (%) por tratamento e por período de tempo, relativamente ao número de animais do tratamento; .....	58
Quadro 17 – Mortalidade total (%); .....	58
Quadro 18 – Comprimento relativo (cm/kg PV) dos órgãos do sistema gastrointestinal de frangos de carne alimentados com diferentes tratamentos; .....	59
Quadro 19 – Peso relativo (g/kg PV) dos órgãos do sistema gastrointestinal de frangos de carne alimentados com diferentes tratamentos. ....	59

## Índice de Abreviaturas

AE – Tratamento 1; Ração de Alta Energia (Controlo)

AEX – Tratamento 2; Ração de Alta Energia + 100 ppm enzima xilanase

AAS – Aminoácidos sulfurados

BE – Tratamento 3; Ração de Baixa Energia

BEX – Tratamento 4; Ração de Baixa Energia + 100 ppm enzima xilanase

E - Energia

E \* X - Interação entre Energia da Ração e Enzima

FAN – Fatores antinutricionais

FEDNA - *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal*

IC – Índice de Conversão

IGF - *Insuline-Likegrowth Factor*

IU – Uma unidade de enzima (U); a quantidade de enzima que catalisa a conversão de 1 micro mole de substrato por minuto

MS – Matéria Seca

n – Número de observações

pH - Simétrico do logaritmo (co-logaritmo) decimal da atividade hidrioníica

PNA – Polissacáridos Não Amiláceos

PV - Peso Vivo

X – Enzima Xilanase

XAP – Xilanase, Amilase e Protease

---

## 1. Introdução

O consumo de carne de frango tem vindo a aumentar nos últimos anos, principalmente pelo seu preço mais reduzido em comparação com outras carnes. Para permanecerem competitivas e satisfazerem o mercado, as empresas avícolas têm de produzir animais ao menor custo, com qualidade e o mais rapidamente possível, sendo necessário uma atualização constante, um conhecimento das últimas tecnologias e avanços na área, procurando sempre melhorar a componente genética dos animais e produzir regimes alimentares de elevada qualidade ao menor preço.

Os cereais fornecem principalmente energia, através dos hidratos de carbono, mas também proteína, lípidos e minerais. O milho é considerado como um alimento de eleição nas rações para aves e é considerado um alimento pouco viscoso e com poucos fatores antinutricionais (FAN) mas, à medida que as dietas passam a tender para o domínio de alguns poucos constituintes (as principais fontes de proteína e de energia) e estes se tornam predominantes nas rações, alguns FAN, como por exemplo os polissacáridos não amiláceos (PNA), mesmo que presentes em teores muito baixos, podem manifestar-se e refletir-se nos índices zootécnicos dos frangos de carne.

Os PNA causam um aumento da viscosidade dos conteúdos digestivos, que se traduz em efeitos negativos nos índices produtivos dos frangos de carne. Desde a década de 80 que é comum o uso de complexos enzimáticos em dietas para frangos com matérias-primas de alta viscosidade, com o objetivo de aumentar a disponibilidade de polissacáridos de reserva, gorduras e proteínas, os quais se encontram frequentemente protegidos da atividade digestiva pelos polissacáridos da parede celular, que são os PNA (Bedford, 1996a).

Dusel *et al.* (1998), Café *et al.* (2002), Fontes *et al.* (2004) e Cowieson *et al.* (2008) referem que as enzimas microbianas têm demonstrado a capacidade de melhorar a utilização dos nutrientes do milho, do trigo e do bagaço de soja. Sartori (n. d.) refere que a suplementação enzimática em rações à base de milho e soja tem provocado melhorias na digestibilidade da ração, com maior disponibilidade de aminoácidos e aproveitamento da proteína da dieta e, consequentemente, melhores resultados de desempenho dos frangos, com maiores ganhos médios diários de peso e melhor índice de conversão (IC) (citado pela Revista Alimentação Animal – n.º 19, 1999).

Deste modo, rações à base de milho e de bagaço de soja, apesar de conhecidas pelas suas excelentes características, com baixos teores de FAN e de PNA, e elevados teores de energia e proteína, poderão, com a suplementação enzimática, verificar-se acréscimos nos seus valores nutritivos e melhores performances zootécnicas.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Sistema Digestivo dos Frangos

Os frangos de carne são animais de crescimento rápido, com elevados requisitos em proteína e energia. Para poderem satisfazer as suas necessidades é imprescindível um sistema digestivo desenvolvido, capaz de ingerir o alimento, digeri-lo e absorver eficazmente os nutrientes finais.

O sistema digestivo dos frangos de carne necessita de ser muito eficiente a nível da digestão e da absorção uma vez que o trânsito digestivo é muito rápido: a fase gástrica do pinto, segundo Bedford *et al.* (1998), dura apenas 20 a 45 minutos, e a taxa de passagem é entre 2 e 4 horas (citando Entringer *et al.*, 1975; Mateos *et al.*, 1982; Johansen *et al.*, 1993).

Se a digestão dos frangos for ineficiente verificam-se consequências para o animal e para o meio ambiente: para o animal pois uma deficiente absorção de nutrientes no tubo digestivo leva a um decréscimo na taxa de crescimento do mesmo (Frigård *et al.*, 1994), e para o ambiente pois ocorre perda de nutrientes ao serem excretados, podendo atingir um valor ambiental preocupante a nível da produção industrial.

O peso do sistema digestivo dos frangos representa, ao nascimento, mais de 25% do seu peso vivo (PV), passando este valor para menos de 5% às 8 semanas de idade (Larbier e Leclercq, 1994). Bedford (1996b) afirma que a principal razão do aumento no desempenho produtivo dos frangos de carne são as melhorias no seu genótipo. Um dos avanços a nível de genótipo importante de realçar é a maior capacidade de absorção por unidade de peso do sistema digestivo, que se traduz numa redução dos custos de manutenção, permitindo uma maior eficiência alimentar e rendimento de carcaça.

O sistema digestivo das aves é, como se pode observar na Figura 1, constituído pela cavidade oral, esófago, papo, proventrículo, moela, intestino delgado, cecos, cólon e cloaca, e também pelas glândulas salivares, o fígado e o pâncreas.

Para que o alimento ingerido possa ser absorvido e utilizado na manutenção corporal e no crescimento, é necessário que ocorra digestão e absorção dos nutrientes. A digestão pode ser definida como um processo de hidrólise de proteínas, hidratos de carbono e lípidos, de forma a

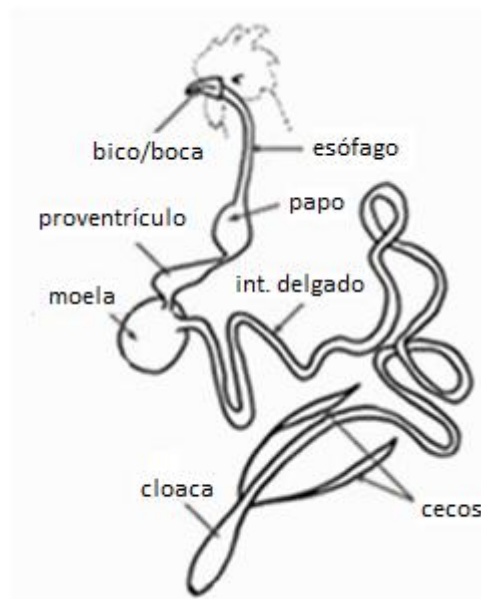


Fig. 1 – Sistema digestivo das aves;

originar compostos mais simples que possam ser facilmente absorvidos para o meio interno do organismo. Neste processo participam ativamente enzimas, que podem ser produzidas pelo animal - enzimas endógenas - ou adicionadas ao alimento - enzimas exógenas.

## **2.2 Órgãos e Glândulas do Sistema Digestivo**

No processo digestivo dos frangos estão presentes inúmeros órgãos e glândulas que influenciam e condicionam todo o processo digestivo. O desequilíbrio ou mau funcionamento de apenas um deles pode influenciar todo o sistema produtivo sendo, portanto, relevante uma boa compreensão de cada.

### **2.2.1 Órgãos do Sistema Digestivo**

#### **Bico**

O bico é constituído por uma estrutura epidérmica queratinizada cuja principal função é a apreensão dos alimentos. O tempo de permanência do alimento aqui é muito reduzido, pelo que não ocorre nenhum processo digestivo. A dimensão e a forma do bico refletem-se no tipo e no tamanho de alimento que a ave consegue ingerir.

#### **Língua**

A língua é uma massa muscular estreita e pontiaguda que auxilia no processo de apreensão e deglutição dos alimentos. A sua mucosa dorsal contém papilas tácteis e gustativas, que ajudam na escolha do alimento e estimulam a produção de amílase.

#### **Faringe**

A faringe é um pequeno segmento que une a cavidade oral ao esófago, onde convergem as aberturas da laringe, da cavidade nasal e da cavidade auditiva.

#### **Esófago**

O esófago é um tubo relativamente longo, localizado entre a faringe e o proventrículo, que funciona como um local de passagem de alimento. Ao longo deste tubo existe uma dilatação - o papo.

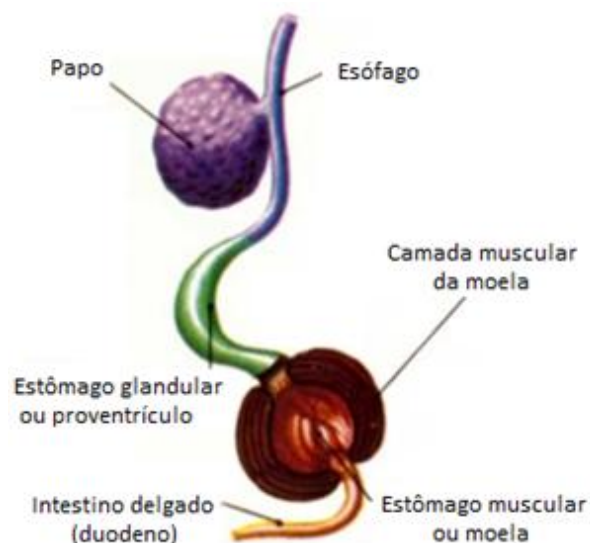
#### **Papo**

O papo é uma dilatação do esófago e tem como função armazenar o alimento e controlar a velocidade do trânsito digestivo. Este controlo é feito deixando passar alimento para a moela apenas quando esta se encontra vazia. O tempo de permanência dos alimentos no papo varia com a sua natureza e com a quantidade ingerida mas é, em média, de 1 a 2 horas.



O papo caracteriza-se por ter uma elevada capacidade de dilatação quando cheio e produz um muco com pH entre 4,4 e 4,9. Este muco envolve os alimentos e ajuda na sua passagem ao longo do sistema digestivo.

A digestão do amido inicia-se neste órgão, apesar de ainda não ser claro se tal se deve à amilase presente e/ou à ação de micróbios benéficos como os lactobacilos (Leeson e Summers, 2001).



**Fig. 2-** Parte anterior do aparelho digestivo de um frango; (Adaptado de: Muedra, 1998)

### Proventrículo

O proventrículo também é designado por estômago glandular. É responsável pela produção de ácido clorídrico e pepsinogénio, componentes do suco gástrico. Este suco apresenta valores de pH na ordem de 4,0 e a sua produção é estimulada pela presença de alimento no proventrículo, dando início à digestão dos alimentos.

### Moela

A moela ou estômago muscular é onde os alimentos começam a ser digeridos por ação dos sucos gástricos e das contrações musculares. É um órgão ligeiramente biconvexo e muito musculoso que trabalha em conjunto com o papo, o qual liberta alimento para o proventrículo quando a moela está vazia. Ao chegar à moela o alimento sofre ação mecânica, sendo triturado por contrações rítmicas e fortes (Boleli *et al.*, 2002) até ser reduzido a finas partículas. Isto permite um melhor contacto dos fluidos estomacais com as partículas de alimento.

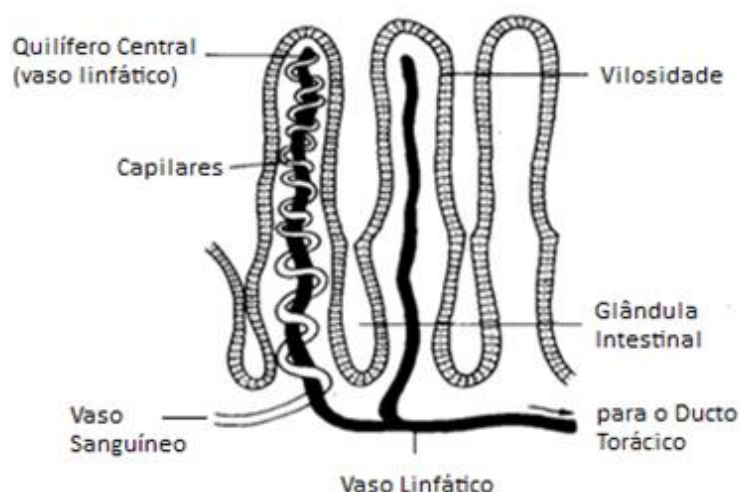
A ação mecânica da moela tem cada vez menos importância na avicultura industrial pois os alimentos são disponibilizados na forma de farinha ou granulado. Nestes casos, a sua principal função é misturar o alimento com o ácido clorídrico (com pH entre 2,2 a 3,6). A parede interna da moela consegue resistir a este ácido pois encontra-se revestida por glicoproteínas. O ácido clorídrico solubiliza os sais minerais, os carbonatos de cálcio e os fosfatos, bem como ioniza eletrólitos e desnatura as estruturas terciárias das proteínas (Larbier e Leclercq, 1994). A digestão dos lípidos e a hidrólise das proteínas inicia-se aqui.

No final da moela encontra-se o piloro. Este órgão é uma constrição muscular que funciona como um crivo deixando passar apenas as partículas de pequenas dimensões, facilitando a digestão no intestino delgado (Labier e Leclercq, 1994).

### Intestino delgado

O intestino delgado é a maior porção do sistema digestivo de um frango adulto e encontra-se dividido em 3 secções: duodeno, jejuno e íleo. É aqui que ocorre a digestão final dos alimentos e a absorção dos nutrientes. A mucosa intestinal apresenta dobras microscópicas denominadas vilosidades intestinais (Labier e Leclercq, 1994) que proporcionam um aumento da superfície interna deste órgão.

A maior parte da absorção dos nutrientes dá-se na parte do intestino delgado onde abundam as vilosidades lamiformes. As vilosidades intestinais são responsáveis pela absorção digestiva devido à sua constituição rica em vasos sanguíneos e capilares linfáticos (Figura 3).



**Fig. 3** - Imagem representativa das vilosidades do intestino delgado;  
(Adaptado de: <http://www.arthursclipart.org/medical/digestive/villi%203.gif>)

A primeira secção do intestino delgado é o duodeno. O duodeno encontra-se ligado à moela, tem forma de “U” (Boleli *et al.*, 2002), nele estão inseridos os ductos biliares e pancreáticos e é externamente envolvido pelo pâncreas (entre a zona descendente e a ascendente). As secreções do duodeno são amarelas e contêm muco, eletrólitos e enzimas (Labier e Leclercq, 1994).

É no intestino delgado que se desenrola a parte final da digestão e da absorção e, por este motivo, contém vilosidade que proporcionam um aumento da superfície de absorção. No duodeno as vilosidades são mais longas e digitiformes, quando comparadas com o restante intestino (Boleli *et al.*,

2002). O epitélio do duodeno é revestido por lamelas que o protegem dos ácidos provenientes da moela.

No final da zona ascendente, onde se abrem os ductos biliares e pancreáticos, inicia-se o jejuno, que se prolonga até ao divertículo de Meckel, a partir do qual começa o íleo. No jejuno as vilosidades intestinais são lameliformes com aspeto folheáceo (Boleli *et al.*, 2002).

O íleo inicia-se no divertículo de Meckel e termina na junção íleo-cecal. As vilosidades intestinais neste segmento do intestino também são lameliformes com aspeto folheáceo (Boleli *et al.*, 2002). Esta é a subdivisão mais longa do intestino delgado.

### **Cecos**

Os cecos são duas estruturas em forma de saco inseridas na parte final do intestino, cujo conteúdo é esvaziado a cada 8 horas, aproximadamente, e que contêm uma elevada atividade bacteriana (Larbier e Leclercq, 1994). Os mesmos autores referem que a digestão nesta zona é mínima, ocorrendo hidrólise parcial da celulose e de outros PNA.

Nos cecos ocorre reabsorção de parte da água que ainda esteja presente no material fecal, algumas fermentações, degradação de proteínas pelas bactérias presentes e também a degradação da fibra bruta nos seus componentes. Jacob *et al.* (2011) referem que a partir da fermentação dos materiais grosseiros que chegam até aqui são produzidos vários ácidos gordos, bem como oito vitaminas do complexo B: tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, piridoxina, biotina, ácido fólico e vitamina B12. Por outro lado, Souza-Soares (2005) refere que, apesar de haver alguma síntese microbiana de vitaminas nos cecos, estas vitaminas não são, aparentemente, absorvidas pelo hospedeiro.

### **Cólon**

O cólon conduz os conteúdos digestivos para a cloaca, sendo uma zona muito curta entre a cloaca e a junção íleo-cecal. Apesar de não haver produção de enzimas neste órgão, existe absorção de água, de alguns produtos da digestão e de sais minerais. Tanto nos cecos como no cólon ocorre alguma absorção, mas em quantidade muito inferior à do intestino delgado.

### **Cloaca**

Após os processos de digestão e absorção os produtos finais são encaminhados para a cloaca para posteriormente serem expelidos do organismo. Esta é a cavidade para o exterior dos sistemas digestivo, urinário e reprodutor.

---

## 2.2.2 Glândulas do Sistema Digestivo

### Glândulas salivares

As glândulas salivares são várias e encontram-se dispersas na cavidade oral. A sua função é produzir saliva rica em muco, o qual serve para lubrificar o alimento, facilitando a sua passagem para o esófago, e para manter a humidade permanente na cavidade oral.

A saliva apresenta um valor de pH de 6,7 a 6,9 e contém, tal como nos mamíferos, iões bicarbonato e amilase (Larbier e Leclercq, 1994). A amilase nas aves parece não ter qualquer atividade enzimática significativa (Pintea *et al.*, 1977) devido aos seus baixos níveis de expressão.

### Fígado

O fígado é uma glândula anexa e tem como função a secreção de bÍlis. A bÍlis contém sais biliares e outros componentes que ajudam a emulsionar as gorduras presentes no intestino delgado. É ligeiramente ácida e é libertada no duodeno ou armazenada na vesícula biliar até ser necessária.

### Pâncreas

O pâncreas é uma glândula anexa, responsável pela produção do suco pancreático. Este suco de pH básico é libertado no duodeno e é constituído por sais (bicarbonato de sódio) e enzimas digestivas (amilases, proteases e lipases).

## 2.3 Absorção de Nutrientes

O local de maior absorção de nutrientes é o Íleo. A absorção da maioria dos produtos finais dos hidratos de carbonos, das proteínas e dos lípidos acontece no Íleo superior, enquanto que a absorção dos sais biliares ocorre amplamente no Íleo inferior, e a absorção dos produtos da degradação das proteínas endógenas verifica-se principalmente na metade inferior do Íleo (Souza-Soares *et al.*, 2005).

As vilosidades intestinais presentes no intestino delgado são responsáveis pela absorção dos nutrientes e têm na sua constituição, como referido anteriormente, vasos sanguíneos e capilares linfáticos que lhes permitem cumprir a sua função.

Os capilares linfáticos vão absorver os produtos da digestão dos lípidos – ácidos gordos e glicerol – que se vão recombinar e entrar na corrente sanguínea pelo ducto torácico. Os vasos sanguíneos vão absorver os produtos da digestão das proteínas e dos hidratos de carbono – aminoácidos e glucose, respetivamente – que são depois conduzidos para o fígado.

Segundo Solomon *et al.* (1993), os ácidos gordos e os monoglicéridos combinam-se com sais biliares para formar complexos solúveis denominados micelas. Quando estas contactam com a parede celular das vilosidades, os monoglicéridos e os ácidos gordos entram nas células por difusão, deixando o resto da micela para trás para que se possa combinar novamente. Já dentro da parede celular os ácidos gordos e o glicerol são novamente combinados pelo reticulo endoplasmático para formar triglicéridos, e são depois transportados pela linfa.

Os mesmos autores explicam que os aminoácidos e a glucose são transportados para o fígado pela veia portal hepática e que aí esta veia divide-se numa vasta rede de vasos sinusoides - vasos sanguíneos muito finos, semelhantes a capilares – permitindo que o sangue rico em nutrientes se mova lentamente pelos tecidos hepáticos, onde os nutrientes e certas substâncias tóxicas são retirados da circulação.

No fígado os monossacáridos são convertidos de glucose em glicogénio, e é nesse formato que são armazenados. Quando os níveis de glucose no sangue baixam, as células hepáticas convertem o glicogénio novamente em glucose e libertam-no no sangue. Se a capacidade de armazenar glucose como glicogénio for suplantada, as células hepáticas convertem o excesso de glucose em ácidos gordos e glicerol, que são depois sintetizados em triglicéridos e enviados para “depósitos” de gordura no corpo (Solomon *et al.*, 1993).

## **2.4 Necessidades Nutricionais**

A ingestão de alimento pelos frangos é afetada pelas suas necessidades energéticas e pela forma de apresentação do alimento. Geralmente define-se alimento como o material que os animais, após a ingestão, conseguem digerir, absorver e utilizar, mas os componentes que os animais conseguem efetivamente utilizar devem ser, segundo McDonald *et al.* (2002), chamados de nutrientes.

Segundo as especificações nutricionais da Aviagen (2007) para a estirpe utilizada, a estirpe Ross 308, o nível de energia metabolizável em dietas para frangos deve ser de 3025 kcal, para o período entre os 0 e os 10 dias, de 3150 kcal, para o período entre os 11 e os 24 dias, e de 3200 kcal para o período dos 25 dias até ao abate.

O teor proteico recomendado vai diminuindo ao longo do tempo, sendo que a Aviagen (2007) aconselha um valor inicial entre os 22 e os 25% e um valor final entre os 23 e os 19%.

Apesar de a Aviagen (2007) não apresentar um valor recomendado de fibra bruta, segundo a FEDNA, a sua percentagem na ração deve ser inferior a 2% de forma a favorecer o desenvolvimento da moela, a produção de ácido clorídrico e de enzimas digestivas, e a mobilidade intestinal.

A quantidade de cálcio na alimentação vai condicionar o crescimento, a eficiência alimentar, a formação da estrutura óssea e o sistema imunitário. O cálcio tem que se encontrar numa forma disponível para os frangos e recomenda-se um teor de 1,05% para os frangos de carne mais jovens, podendo depois diminuir até aos 0,86% na fase de acabamento (Aviagen, 2007).

O fósforo é um elemento essencial para o desenvolvimento ósseo, que participa na formação das membranas celulares e na manutenção do equilíbrio osmótico e eletrolítico, é necessário para a utilização e transferência de energia (na forma de ATP), no transporte de gorduras e na síntese de aminoácidos e de proteínas, e ainda participa no controle do apetite e na eficiência alimentar (Runho *et al.*, 2001). Apesar de ser um mineral que está presente nas matérias-primas, na maioria dos casos, não se encontra disponível. Para colmatar esta lacuna, é comum o uso de fitases que tornam possíveis a utilização do fósforo fítico de origem vegetal.

Os micronutrientes, cedidos geralmente por um premix, devem ter uma taxa de incorporação de forma a cobrirem as necessidades dos animais, e têm que estar presentes numa forma química que os frangos consigam utilizar.

A apresentação do alimento influencia a quantidade consumida pelos frangos e Flemming *et al.* (2002) citam Portella *et al.* (1988) afirmando que os frangos de carne, mesmo jovens, conseguem distinguir pequenas variações de tamanho entre as partículas, tendo preferência pelas maiores. O alimento na forma de granulado proporciona um melhor ganho médio diário, favorecendo o consumo e diminuindo as perdas de alimento. Quando o alimento é dado de uma forma grosseira os animais apresentam preferências e seleção de alimentos e/ou partículas, o que poderá causar desequilíbrio nutricional na alimentação dos frangos de carne (Flemming *et al.*, 2002, citando Brum *et al.*, 1998). Considera-se ainda que nos primeiros 15 dias de vida deve ser fornecido aos frangos alimento na forma de migalha, entre os 18 e os 25 dias o grânulo pode ter dimensões entre os 2,5 e os 3 mm de diâmetro, e a partir dos 22 a 25 dias de idade pode-se fornecer grânulos de diâmetro entre os 3 e os 3,5 mm (Correia, 2010).

## **2.5 Fontes Energéticas e Proteicas na Alimentação de Frangos de Carne**

Os grãos de cereais são a fonte principal de energia nas rações para animais devido ao seu elevado teor em hidratos de carbono, principalmente amido. O amido está concentrado no endosperma do grão na forma de grânulos, cujo tamanho e formato variam com os diferentes cereais (McDonald *et al.*, 2002).

Além de energia, os cereais são também uma fonte de proteína, sendo o conteúdo total de proteína bruta nos grãos de milho muito variável e geralmente entre 80 e 120 g/kg de matéria seca (MS). Por outro lado, as suas proteínas são deficientes em alguns aminoácidos essenciais, nomeadamente em lisina e metionina (McDonald *et al.*, 2002), o que limita a sua utilização e torna necessário o uso de outros ingredientes como fonte de proteína.

A soja é frequentemente usada como fonte de proteína, nomeadamente sob a forma de bagaço de soja, o qual é considerado como uma das melhores fontes de proteína de origem vegetal disponíveis para os animais pois encontra-se facilmente disponível e contém todos os aminoácidos essenciais. Sendo assim, o milho e o bagaço de soja são uma combinação frequente de matérias-primas, que permitem obter o teor energético e proteico desejado. São considerados alimentos de boa qualidade, que produzem excelentes resultados, e são usados em larga escala nas rações para frangos ao longo de todo o ciclo produtivo.

Inicialmente as enzimas eram utilizadas em rações com altos teores de PNA, que tinham na sua constituição cereais de alta viscosidade - como o trigo, o centeio, o triticale, a cevada e a aveia - mas cada vez mais se tem vindo a demonstrar que a suplementação enzimática também é vantajosa em cereais de baixa viscosidade - como o milho e o sorgo (Cowieson *et al.*, 2008). Deste modo, o uso de enzimas permite diminuir a viscosidade do digesta e, por sua vez, aumentar a disponibilidade de nutrientes, permitindo aos frangos de carne aceder a uma maior quantidade de nutrientes na generalidade e melhorar as suas performances zootécnicas (Strada *et al.*, 2005).

### 2.5.1 Milho

O milho (*Zea mays*) é um cereal cultivado em grande parte do mundo e utilizado pelas suas qualidades nutricionais elevadas, tanto na alimentação humana como na alimentação animal. Na Europa, grande parte da produção de milho é utilizado na alimentação animal, sendo um ingrediente importante na formulação de rações. No Quadro 1 apresentam-se os valores da produção de milho na Europa, em toneladas, entre 2008 e 2012.

**Quadro 1-** Produção de milho na Europa, entre 2008 e 2012, em toneladas;  
(Dados de: FAOSTAT)

Ano	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Produção (t)</b>	93 230 545	84 008 011	85 091 721	110 186 663	94 090 160

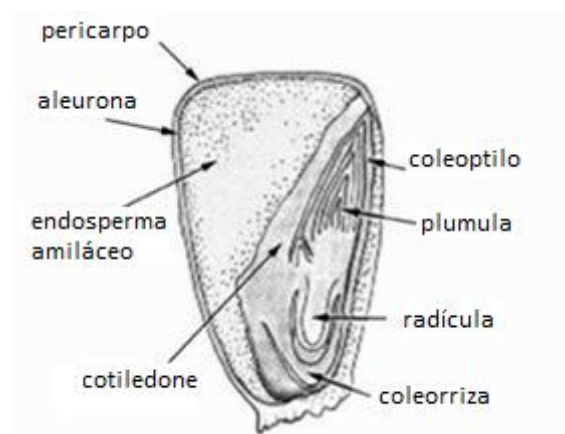
Hoje em dia tem-se vindo a provar que a qualidade do milho é muito variável e Penz Jr. (1998) afirma que a qualidade nutricional do milho varia com as diferentes digestibilidades dos hidratos de

carbono que o compõem o que, segundo Carvalho *et al.* (2009), depende das diferenças entre variedades, condições de cultivo da planta e estrutura espacial dos polímeros de amido.

O principal hidrato de carbono de reserva do milho é o amido, sendo a principal fonte de energia do cereal, e está normalmente localizado dentro do endosperma e das células que o compõem. Apesar de ser um composto considerado homogêneo, pode variar a sua composição em amilose e amilopectina. O teor de amilose aumenta com a idade e o tamanho do grânulo de amido. Por sua vez, os milhos que apresentam maiores teores de amilopectina possuem, geralmente, a fração de amido mais hidrossolúvel e com maior facilidade de digestão (Bertechini *et al.*, 2007).

Segundo McDonald *et al.* (2002), o milho contém aproximadamente 730 g de amido/kg de MS, sendo muito pobre em fibra, com um valor elevado de energia metabolizável e um teor de lípidos na ordem dos 40 a 60 g/kg MS.

Bedford (1993) refere que o amido é responsável por 60 a 70% do peso dos grãos de cereais, sendo que 90 a 95% desse amido é digerido no intestino delgado pelas enzimas endógenas (Williams *et al.*, 1997). Para que um animal monogástrico, como os frangos de carne, consiga aceder ao amido dos cereais, necessita de conseguir penetrar o pericarpo e a aleurona. Nas rações industriais o milho encontra-se moído, pelo que parte desta barreira é ultrapassada. Na Figura 4 está representado um grão de milho e as suas estruturas.



**Fig. 4** – Grão de milho;  
(Adaptado de: <http://www.mejoravegetal.criba.edu.ar/>)

O pericarpo serve para proteger o grão e é composto por várias camadas de células. Por sua vez, a aleurona é uma fina camada de células que reveste o endosperma, mas cuja parede celular é muito espessa. O endosperma funciona como uma última barreira no acesso ao amido mas é, segundo Bedford (1995), facilmente rompido pelo processamento dos alimentos e pelo tratamento mecânico (moela).





### 2.5.2 Bagaço de Soja

A soja (*Glycine max*) pertence às leguminosas e é um grão rico em proteínas, originário da China e do Japão, mas que hoje em dia é mundialmente usado tanto na alimentação humana como animal. O Quadro 2 apresenta os valores de produção de soja na Europa, em toneladas, entre 2008 e 2012.

**Quadro 2** - Produção de soja na Europa, entre 2008 e 2012, em toneladas;  
(Dados de: FAOSTAT)

Ano	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Produção (t)</b>	2 742 684	3 352 856	4 788 438	5 793 126	5 514 938

O seu uso como fonte de proteína é muito importante, tratando-se de uma proteína com quantidades significativas da maioria dos aminoácidos essenciais. Segundo McDonald *et al.* (2002), dos aminoácidos essenciais presentes na soja, apenas os teores de aminoácidos sulfurados estão abaixo do valor ideal, o que é facilmente contornado através da adição de aminoácidos sintéticos durante o fabrico das rações.

Choct *et al.* (2010) referem que o bagaço de soja é composto por aproximadamente 48% de proteína, 35 a 40% de hidratos de carbono, 7 a 10% de água, 5 a 6% de minerais e menos de 1% de gordura (citando USDA, 2009). Apesar do bagaço de soja ser a fonte de proteína mais utilizada para monogástricos na Europa, a sua energia é considerada baixa.

## 2.6 Fatores Antinutricionais

Sabendo que os alimentos utilizados na formulação de rações têm compostos que os tornam prejudiciais para os frangos de carne, é necessário conhecer a forma como atuam e quais os seus efeitos nos animais. Hoje em dia, as formulações utilizadas visam fornecer alimento com uma alta densidade de nutrientes, de forma a ser possível alcançar altos índices zootécnicos a um custo mínimo, mas este tipo de formulação frequentemente não leva em conta a concentração de FAN.

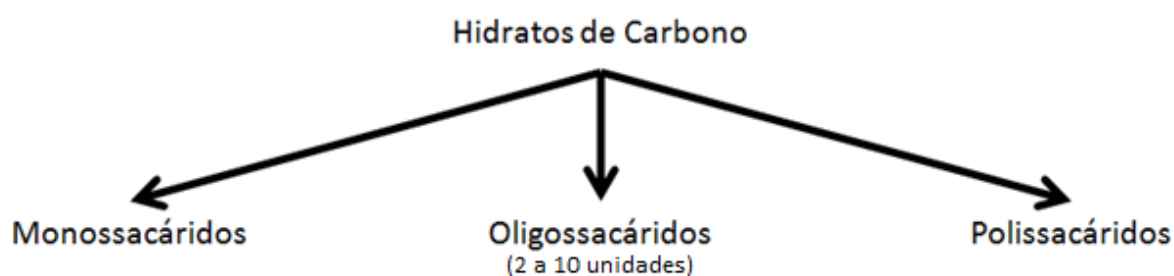
Na atualidade, as rações para frangos de carne consistem geralmente em dois ou três macro ingredientes, tornando possível que um ingrediente componha até 60% da ração final. Nestas quantidades de incorporação, o valor absoluto de FAN destes ingredientes principais torna-se elevada, e os seus efeitos antinutritivos podem manifestar-se. Os FAN são fatores que são gerados nos alimentos *in natura* e que exercem um efeito contrário à nutrição adequada e desejada. Podem surgir pelo metabolismo normal da espécie da qual o material se origina, e por mecanismos diferentes: decomposição ou inativação de alguns nutrientes, diminuição digestiva ou metabólica do alimento (Cousins, 1999).

Os FAN, apesar de não serem tóxicos, podem apresentar propriedades antinutritivas, causando efeitos fisiológicos e/ou diminuindo a disponibilidade de nutrientes, o que vai afetar os índices zootécnicos dos animais. Podem reduzir o crescimento, aumentar o IC, provocar alterações hormonais e até causar lesões nos órgãos (Campestrini *et al.*, 2005). Choct (1997) refere que têm efeitos morfofisiológicos no sistema digestivo e que interagem com a microflora intestinal. Todos estes efeitos antinutritivos são economicamente relevantes.

As propriedades dos FAN dependem do antinutriente em questão e da sua concentração na ração. Existem vários antinutrientes, como por exemplo os inibidores de proteases, de lipases, de amilase, o ácido fítico ou os PNA, mas neste estudo, apenas este último será considerado.

### 2.6.1 Polissacáridos Não Amiláceos e os Seus Efeitos

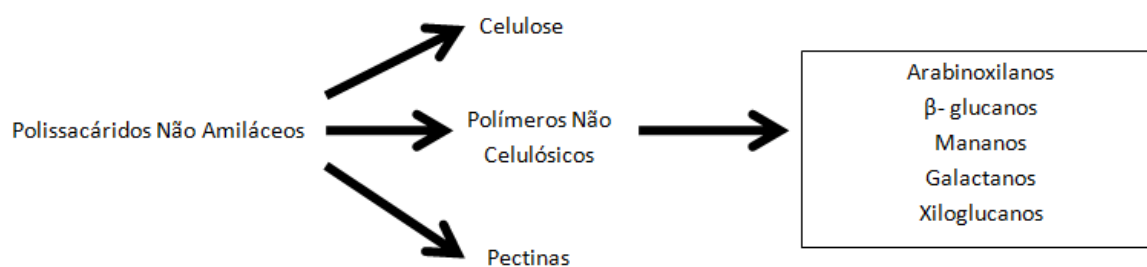
Os polissacáridos são uma classe de hidratos de carbono e são importantes componentes dos materiais vegetais que são utilizados nos alimentos compostos para monogástricos. Quando se fala em hidratos de carbono deve-se ter em conta a sua classificação (Figura 6).



**Fig. 6** – Classificação dos hidratos de carbono com base no seu peso molecular;

Williams *et al.* (1997) definem polissacáridos como polímeros macromoleculares de monossacáridos (açúcares simples) que estão unidos por ligações glicosídicas, e que podem ser divididos em amiláceos ou não amiláceos. Para este estudo, apenas os últimos - os PNA - são os relevantes pois, devido ao tipo de ligações das unidades de açúcar, são resistentes à hidrólise no sistema gastrointestinal dos monogástricos (Souza, 2005).

Os PNA são os principais constituintes da componente fibrosa dos grãos de cereais e são hidratos de carbono estruturais complexos, presentes no endosperma dos grãos de cereais (Cousins, 1999). Podem ser solúveis ou insolúveis em água, sendo que os solúveis podem causar problemas nutricionais. Bailey (1973) divide os PNA em três grupos principais: celulose, polímeros não celulósicos e pectinas, como representado na Figura 7.



**Fig. 7** - Constituintes dos PNA;  
(Adaptado de: Choct, 1997)

Os PNA solúveis (arabinoxilanos,  $\beta$ -xilanos,  $\beta$ -glucanos, D-mananos, galactomananos, xiloglucanos, raminogalacturonas e substâncias pécticas, entre outros) presentes nas rações não são digeridos devido às suas ligações  $\beta$ ; estas ligações não são degradadas pelas enzimas endógenas das aves e, por outro lado, levam à formação de um gel e a um aumento da viscosidade dos conteúdos digestivos (Souza, 2005). Os PNA solúveis também aprisionam sais biliares e reduzem a emulsificação das gorduras (Torres, 2003).

Os PNA solúveis em água possuem propriedades antinutricionais pela sua capacidade de se ligarem com grandes quantidades de água e de encapsularem nutrientes e diminuir a digestibilidade global dos nutrientes através de modificações morfológicas, fisiológicas e/ou químicas nos compartimentos do tubo digestivo. A ligação com moléculas de água provoca um aumento da viscosidade do conteúdo intestinal (Cousins, 1999) e este aumento, por sua vez, torna mais difícil a ação das enzimas endógenas e a absorção de nutrientes.

A presença de PNA solúveis nos cereais vai-se refletir em inúmeros parâmetros fisiológicos:

### **1. Aumento da viscosidade do conteúdo digestivo**

O aumento direto da viscosidade deve-se à capacidade dos PNA absorverem muita água quando passam pelo intestino delgado. Este aumento pode ser percebido pela mera observação do excreta, que se torna mais viscoso e aderente (Nunes, 1995; Hadorn *et al.*, 2001; Leeson e Summers, 2001). O aumento da viscosidade é visível para concentrações de PNA inferiores a 5% nas rações. Esta situação é mais grave nos animais jovens visto que a sua capacidade de produção de enzimas endógenas é muito limitada, e é aumentando a sua produção endógena que os animais tentam compensar o aumento de viscosidade (Bedford, 1995).

Pettersson e Åman (1989), Leeson *et al.* (1996), Leeson *et al.* (2000) e Wang *et al.* (2005) referem que um conteúdo digestivo mais viscoso torna o acesso ao substrato pelas enzimas digestivas mais

difícil, limitando a absorção de nutrientes. Leeson e Summers (2001) especificam que os nutrientes mais afetados são os ácidos gordos e os monoglicéridos, podendo originar síndrome de “má-absorção” de gorduras. Quando isto ocorre, o IC e o ganho médio de peso são afetados, uma vez que a quantidade de energia disponível é menor.

Williams *et al.* (1997) explicam que a diminuição da energia metabolizável aparente da dieta resulta de um decréscimo na digestibilidade dos nutrientes, com um aumento do IC alimentar devido aos PNA. Tejedor *et al.* (2001) citam Bedford *et al.* (1991), afirmando que a presença de compostos de PNA provoca um aumento da viscosidade do alimento a nível do sistema gastrointestinal, o que origina reduções na digestão e na absorção de aminoácidos, hidratos de carbono, minerais e outros nutrientes, com uma consequente diminuição na produtividade das aves.

## **2. Alteração das funções intestinais**

Choct (1997) afirma que os PNA conseguem alterar as funções intestinais pois podem modificar a capacidade endógena de secreção de água, proteínas, eletrólitos e lípidos (citando Johnson & Gee, 1981; Angkanaporn *et al.*, 1994). Se consumidos por um período prolongado, os PNA podem levar a um aumento do tamanho relativo dos órgãos e das secreções digestivas, e diminuir a digestão de nutrientes, uma vez que o tempo de permanência do conteúdo digestivo no tubo digestivo aumenta. Este aumento do período de permanência leva a uma adaptação dos órgãos do sistema digestivo, caracterizada por um aumento do peso e do comprimento dos mesmos órgãos, alterando as suas propriedades morfológicas e estruturais (Simon, 1998).

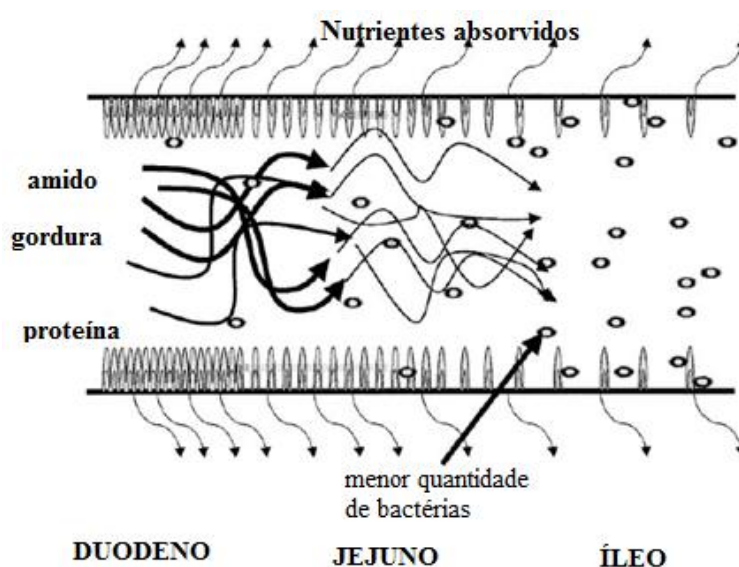
## **3. Interação com a microflora intestinal**

O aumento no tempo de permanência do conteúdo digestivo no intestino, devido à maior viscosidade, leva a uma baixa concentração de oxigénio e um consequente aumento das fermentações microbianas no intestino delgado e favorecimento da flora anaeróbia (Choct, 1997). Esta flora é prejudicial pois passa a existir competição entre o frango e a flora pelos nutrientes, diminuindo a eficiência da utilização dos mesmos, e pode-se verificar a produção de toxinas pelos microrganismos anaeróbios e a desconjugação dos sais biliares essenciais na digestão dos lípidos.

Silva (2008) refere que as bactérias patogénicas intestinais anaeróbias poderão produzir aminas biogénicas ou monoaminas (nomeadamente cadaverina, histamina e putrescina), gases, como por exemplo o gás amoníaco, e até enterotoxinas (citando Visek, 1978; Miles, 1993; Garlich, 1999; Ghadban, 2002).

A suplementação enzimática pode modificar a quantidade e a composição da população microbiana no sistema digestivo, pois permite uma mudança no local de absorção e também uma passagem mais rápida do conteúdo digestivo, o que leva a uma melhor absorção de nutrientes (Simon, 1998). Bedford (2000) afirma que uma ração rapidamente digestível suporta uma menor carga microbiana.

Na Figura 8 apresenta-se uma representação da relação entre a digestibilidade de uma ração e a respetiva densidade da população microbiana no intestino delgado.



**Fig. 8** - Relação entre a digestibilidade de uma ração e a densidade populacional microbiana no intestino delgado;  
(Adaptado de: Bedford, 2000)

As enzimas, ao aumentarem a digestibilidade dos nutrientes, movem o local de digestão e de absorção do amido e da proteína para uma posição mais anterior, onde há uma menor carga microbiana, o que torna a quantidade de nutrientes disponíveis para o frango de carne mais elevada, pois diminui a competição entre o frango e a população microbiana. Este efeito torna-se mais evidente em frangos mais velhos devido ao aumento da microflora próprio do amadurecimento do sistema digestivo (Bedford, 2000)

A viscosidade, como visto anteriormente, afeta o comprimento dos órgãos do sistema digestivo. Simon (1998) refere que reduzindo o comprimento do intestino, o que é possível diminuindo a viscosidade do conteúdo digestivo, altera-se as condições de adesão para as bactérias associadas aos tecidos. Este autor cita Vahjen *et al.* (1998), segundo os quais a suplementação com xilanase numa dieta à base de trigo afetou a colonização de lactobacilos, de uma enterobactéria e de cocci anaeróbio facultativo gram positivo, reduzindo a contagem das duas últimas (nefastas) e aumentando a contagem da primeira.

---

#### **4. Aumento do consumo de água**

Frequentemente verifica-se um aumento do consumo de água quando se utilizam dietas ricas em PNA (Hadorn *et al.*, 2001). O aumento do consumo de água, em conjunto com um maior tempo de permanência do conteúdo digestivo no sistema digestivo, pode fazer com que a saciedade mecânica das aves ocorra antes da saciedade energética, não permitindo aos frangos de carne exprimir o seu potencial genético e diminuindo as suas performances zootécnicas.

#### **5. Camas húmidas**

Relacionado com o aumento do consumo de água surge, frequentemente, a problemática das camas húmidas. As camas húmidas estão relacionadas com a produção de amônia e de outros gases nocivos e com a incidência de pododermatites, o que afeta o bem-estar animal, as performances zootécnicas e, conseqüentemente, o lucro dos produtores.

A suplementação enzimática, ao agir sobre os PNA, diminui a viscosidade do digesta, o que resulta numa diminuição da incidência de camas húmidas. Este problema tem sido muito estudado principalmente quando se utilizam rações ricas em cevada, aveia, centeio (cereais considerados de alta viscosidade), que resultam na produção de excrementos viscosos e muito húmidos. Mas este efeito, apesar de com menor intensidade, também surge associado a cereais com menores teores de PNA como o milho ou o sorgo.

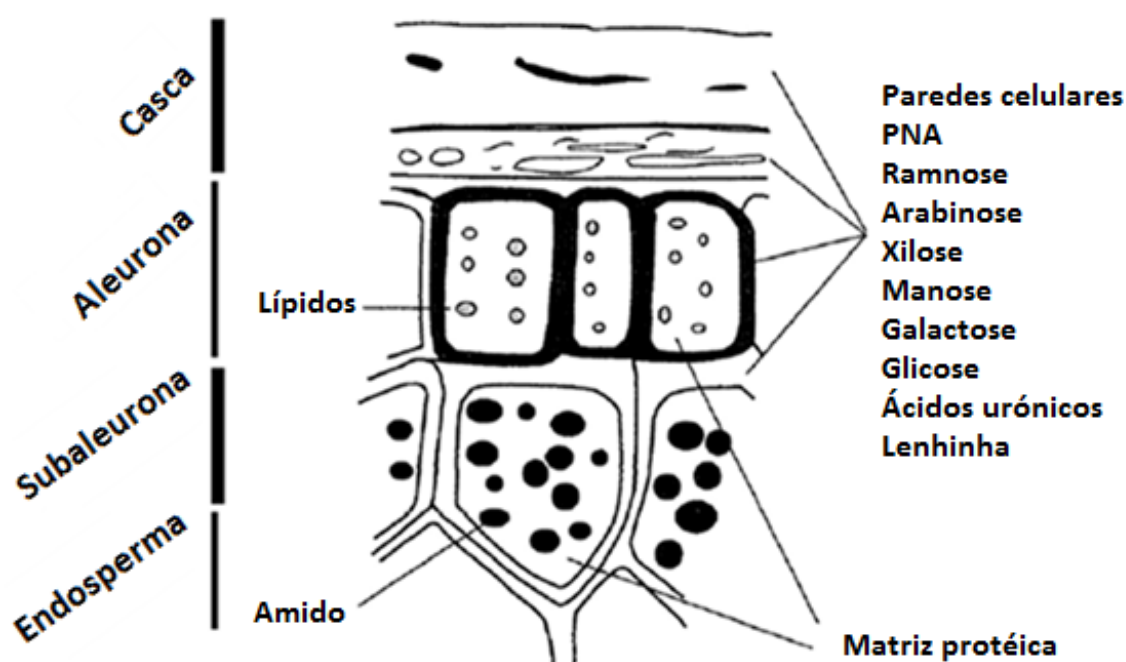
#### **6. Efeito prisão**

Segundo Meng *et al.* (2005a) existem evidências de que alguns nutrientes do milho não sejam completamente digeridos no intestino delgado e que quantidades consideráveis de amido e proteína escapem à digestão (citando Noy e Sklan, 1995). Cousin (1999) refere que o teor de PNA está relacionado negativamente com a energia metabolizável dos cereais, uma vez que os PNA bloqueiam nutrientes no interior do lúmen – “efeito prisão”. Nos grãos inteiros este efeito surge relacionado principalmente com a camada de aleurona pois esta limita o acesso das enzimas digestivas do próprio animal e impede a completa digestão dos componentes de amido e proteína contidos na parede celular.

As paredes celulares do endosperma são compostas por uma complexa formação de hidratos de carbono solúveis e insolúveis, maioritariamente representadas por arabinoxilanos, celulosas,  $\beta$ -glucanos de ligação mista (Meng *et al.*, 2005; Cardoso, 2009) e outros, cuja proporção depende do cereal, e que vão provocar um aumento da viscosidade do digesta.

No interior das paredes celulares encontra-se amido encapsulado, lípidos e proteínas. Os animais monogástricos são incapazes de digerir estas estruturas, pois não produzem enzimas para estes substratos, e o conteúdo do endosperma das células escapa intacto à digestão (Pettersson *et al.*, 1990; Cowan *et al.*, 1993; Bedford *et al.*, 1998, citando Pettersson & Aman, 1988). Parkkonen *et al.* (1997) verificaram que o uso de xilanase, *in vitro*, permitiu um maior acesso das enzimas proteolíticas aos seus substratos na camada de aleurona, presumidamente ao degradarem a matriz da parede celular.

A Figura 9 demonstra as estruturas presentes nas paredes de um grão de cereal e os nutrientes retidos no seu interior, que podem ser aproveitados pelos frangos de carne após serem libertados.

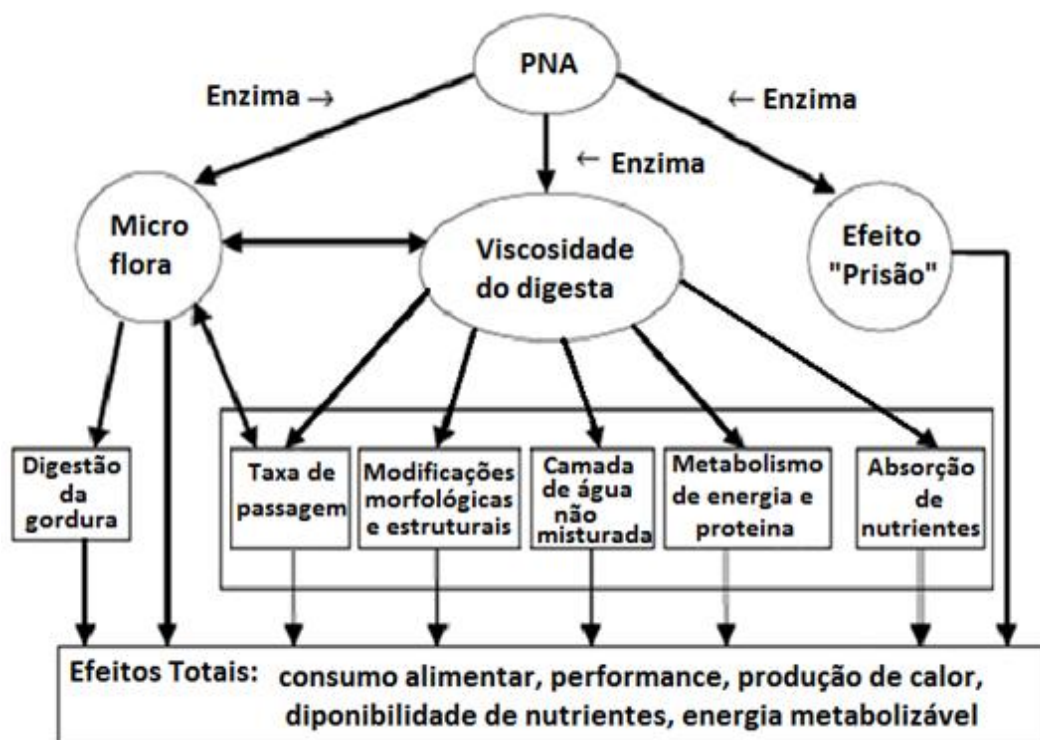


**Fig. 9** - Estruturas e PNA presentes nas paredes celulares de um grão de cereal;  
(Adaptado de: Ott, 2005, citando Knudsen, 2001)

Quantidades consideráveis de amido e de proteína podem ser escudadas pela parede celular, escapando à digestão. O uso de enzimas pode suavizar o “efeito prisão” pois estas podem agir sobre a parede celular, a aleurona, provocando quebras parciais nas paredes celulares do endosperma e, consequentemente, reduzindo a viscosidade e expondo proteínas e amido, sendo este último rapidamente digerido pelas amílases intestinais do frango (Meng *et al.*, 2005b citando Pack *et al.*, 1998).

Na Figura 10 estão representados diferentes fatores influenciados pela presença de PNA e a ação das enzimas sobre estes.





**Fig. 10** - Efeito dos PNA e das enzimas que os degradam;  
(Adaptado de: Cousins, 1999, citando Simon, 1998)

### 2.6.1.1 Polissacarídeos Não Amiláceos no Milho

O milho possui hidratos de carbono que não são utilizados, principalmente PNA e oligossacáridos. Bertechini *et al.* (2007) apontam para um valor de 8% de PNA na MS, sendo a sua maioria, cerca de 6%, na forma insolúvel, e composta maioritariamente por arabinoxilanos (citando Smile & Annison, 2001, e Acamovic, 2001). Estes valores estão de acordo com os apresentados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). No Quadro 3 e no Quadro 4 apresentam-se os teores de PNA totais do milho, a composição de PNA e os tipos de PNA presentes.

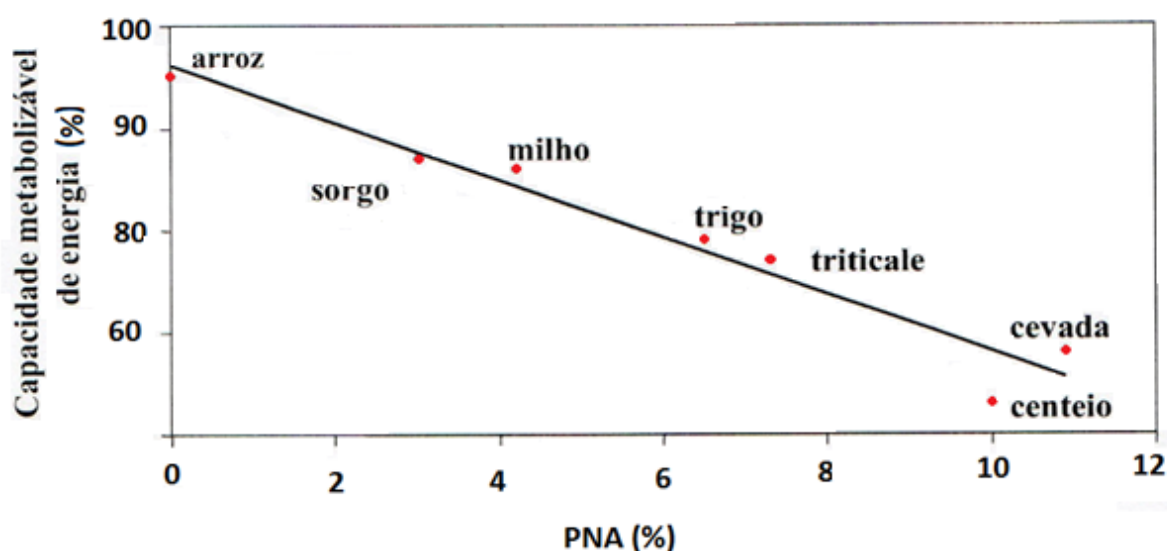
**Quadro 3** – Teor de PNA no milho;  
(Adaptado de: Cardoso *et al.*, 2009; Rev. Ali. Animal – N.º 19, 2000)

Teor de Polissacáridos Não Amiláceos do Milho:			
Ingredientes	Tipo de PNA	% MS	Autor
Milho	PNA Totais	8,0	Schutte (1991)
		4,0	Cousins (1999)
		9,32	Malathi e Devegowda (2001)
		9,7	Ruiz <i>et al.</i> (2008)
		8,10	Tavernari <i>et al.</i> (2008)
		8,1	FAO
	Arabinoxilanos	4,2	Annison (1991)
	β-glucanos	0,1	Annison (1991)

**Quadro 4** - Composição dos PNA do milho;  
(Adaptado de: <http://www.fao.org>)

Tipo de PNA	% MS
Arabinose	1,9
Xilose	2,4
Manose	0,2
Galactose	0,4
Glucose	2,6
Ácido urónico	0,6
<b>PNA Totais</b>	<b>8,1</b>

A Figura 11 demonstra a relação entre a energia metabolizável e o conteúdo em PNA de alguns cereais, sendo possível observar que quanto maior for o teor de PNA, menor será a capacidade metabolizável da energia, demonstrando que estes dois fatores variam inversamente.



**Fig. 11** - Relação entre a energia metabolizável (%) e o conteúdo de PNA (%) dos cereais;  
(Adaptado de: Cousins, 1999)

Neste trabalho de Cousins (1999) o arroz apresenta a menor fração de PNA e o maior valor de energia metabolizável, enquanto que o centeio e a cevada apresentam os maiores teores de PNA e os menores valores de energia metabolizável. Segundo este autor, o milho apresenta um teor de PNA ligeiramente superior aos 4% e observa-se que, baixando o valor de PNA (o que é possível com a suplementação enzimática) ocorre uma melhoria da energia metabolizável.

Segundo Choct (1997) é muito importante, para estabelecer a influência dos PNA, fazer uma comparação entre a fração solúvel e a fração insolúvel (Quadro 5).

**Quadro 5** - Teor de PNA e de arabinosilanos em diferentes cereais (% MS);  
(Adaptado de: Choct, 1997 e 2011)

Cereal	Arabinosilanos			PNA Totais		
	Solúvel	Insolúvel	Total	Solúvel	Insolúvel	Total
<b>Trigo</b>	1,8	6,3	8,1	2,4	9,0	11,4
<b>Cevada</b>	0,8	7,1	7,9	4,5	12,2	16,7
<b>Centeio</b>	3,4	5,5	8,9	4,6	8,6	13,2
<b>Aveia</b>	0,8	14,7	15,5	3,8	24,5	28,3
<b>Triticale</b>	1,3	9,5	10,8	1,7	14,6	16,3
<b>Sorgo</b>	0,1	2,0	2,1	0,2	4,6	4,8
<b>Milho</b>	0,1	5,1	5,2	0,1	8,0	8,1
<b>Arroz (descascado)</b>	-	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8

No Quadro 5 verifica-se que o milho, apesar de possuir 8,1% de PNA Totais, apenas 5,2% corresponde à fração arabinosilanos. Comparando com os outros cereais, o milho apresenta baixos valores de arabinosilanos, apenas inferiores para o sorgo e para o arroz.

Da fração de arabinosilanos do milho (5,2%) apenas 0,1% estão na sua forma solúvel e são passíveis de provocar um aumento da viscosidade do digesta. Desta forma, a maioria dos arabinosilanos do milho são insolúveis (5,1%), não provocando um aumento da viscosidade do digesta quando presentes na alimentação dos frangos de carne mas, se as suas ligações forem quebradas, poderão aumentar a disponibilidade de nutrientes, nomeadamente proteínas e amido (Meng *et al.*, 2005b), que poderão ser digeridos e melhorar as performances zootécnicas pois tanto a fração solúvel como a fração insolúvel estão sujeitas à ação da suplementação enzimática.

#### **2.6.1.2 Polissacarídeos Não Amiláceos no Bagaço de Soja**

Segundo Choct *et al.* (2010), dos hidratos de carbono presentes no bagaço de soja, aproximadamente 10% correspondem a açúcares livres e entre 30% e 40% correspondem a PNA, dos quais 8% são celulose e o resto são polissacarídeos pécnicos. No Quadro 6 pode-se observar o teor de PNA totais no bagaço de soja, segundo diferentes autores, e no Quadro 7 os tipos de PNA presentes no bagaço de soja.

**Quadro 6 – PNA Totais do bagaço de soja (% MS);**  
(Adaptado de: Bertechini *et al.*, 2007; Cardoso, 2009; Rev. Ali. Animal – N.º 19, 2000)

Teor de Polissacáridos Não Amiláceos do Bagaço de Soja			
Ingrediente	Tipo de PNA	% de MS	Autor
Bagaço de Soja	PNA Totais	27	Schutte (1991)
		19,2	Choct (1997), citando Irish & Balnave (1993)
		27	Smile & Annison (2001)
		27	Acamovic (2001)
		29,02	Malathi e Devegowda (2001)
		10,3	Ruiz <i>et al.</i> (2008)
		30,30	Tavernari <i>et al.</i> (2008)

**Quadro 7 – Composição dos PNA no bagaço de soja (% MS);**  
(Adaptado de: <http://www.fao.org>; Choct, 1997)

Composição dos Polissacáridos Não Amiláceos do Bagaço de Soja			
FAO		Choct, 1997 (citando Irish & Balnave, 1993)	
Tipo de PNA	% MS	Tipo de PNA	% MS
Arabinose	2	Arabinose	2,9
Xilose	1,8	Xilose	1,8
Manose	0,6	Manose	0,9
Galactose	2,9	Galactose	4,5
Glucose	6,7	Glucose	0,5
Ácido urónico	2,5	Ácido urónico	3,6
<b>PNA Totais</b>	<b>17,2</b>	Celulose	4,4
		Ramnose	0,3
		Fucose	0,3
		<b>PNA Totais</b>	<b>19,2</b>

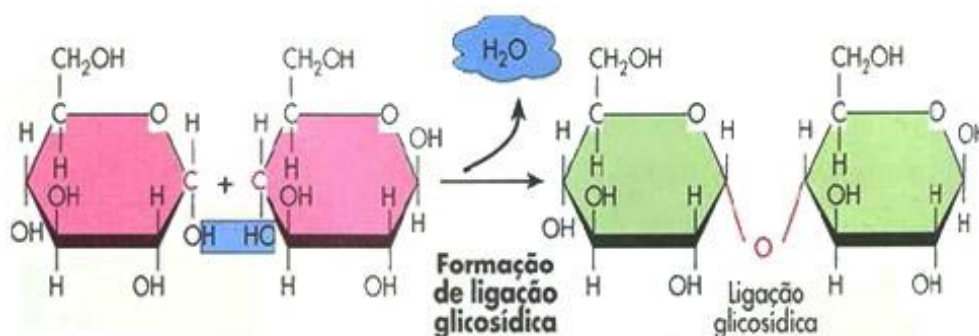
No Quadro 8 apresentam-se os valores de arabinose e de xilose para o bagaço de soja.

**Quadro 8 – Composição em arabinose e xilose, solúvel, insolúvel e total, no bagaço de soja (% MS);**  
(Adaptado de: Choct, 1997, citando Irish & Balnave, 1993)

			% MS
Tipo de PNA	Arabinose	Solúvel	0,5
		Insolúvel	2,4
		Total	2,9
	Xilose	Solúvel	0,1
		Insolúvel	1,7
		Total	1,8

Conte *et al.* (2002) afirmam que no bagaço de soja os FAN predominantes são os oligossacáridos. Os oligossacáridos são hidratos de carbono, normalmente formados por um número reduzido de monossacáridos, de dois a dez, que se encontram unidos por ligações glicosídicas (Figura 12).

Os oligossacáridos são primariamente uma fonte de energia para os organismos mas alguns participam em funções estruturais, ao serem ligados a proteínas e darem origem a glicoproteínas.



**Fig. 12** - Esquema ilustrativo da formação de um oligossacárido a partir de dois monossacáridos, com formação de uma ligação glicosídica;  
(Fonte: <http://isabelle.math.ist.utl.pt>)

Segundo Flemmings *et al.* (2012) os oligossacáridos podem ser utilizados como nutrientes pelas bactérias e alguns autores consideram que, quando presentes nas rações de frangos de carne, permitem aumentos na retenção de minerais e uma melhor mineralização dos ossos (citando Bradley & Savage, 1994 e Martin, 1994). Oyofu *et al.* (1999) afirmam que, à medida que bactérias eutróficas e oligossacáridos são adicionados a uma ração, a condição de equilíbrio entre bactérias torna-se permanente e impossibilita o estabelecimento de organismos nocivos, nomeadamente de *Salmonella*, *E. Coli* e *Clostridium*, aumentando o número de bactérias benéficas produtoras de ácido láctico e mantendo a situação de eubiose (citado por Flemming, 2012).

No caso da soja existe uma fração de oligossacáridos formada principalmente por α-galactosídeos, nomeadamente rafinose e estaquiose. A rafinose e a estaquiose são indigestíveis para os monogástricos e atuam como substratos para o crescimento microbiano intestinal, favorecendo a flora microbiana intestinal indesejável. Consequentemente, a rafinose e a estaquiose levam à produção de gases, diminuição da velocidade de passagem e a uma menor utilização dos nutrientes pelos frangos de carne, provocando uma diminuição do valor de energia metabolizável e da digestão dos alimentos.

No Quadro 9 apresenta-se o conteúdo em hidratos de carbono no bagaço de soja e, nomeadamente, os teores de rafinose e estaquiose.

**Quadro 9** - Conteúdo em hidratos de carbono do bagaço de soja;  
(Adaptado de: Coon *et al.*, 1990; Choct *et al.*, 2010)

Componente	% MS	Autor
Hidratos de Carbono solúveis em H <sub>2</sub> O	12,02	Coon <i>et al.</i> (1990)
Sacarose	5,98	Coon <i>et al.</i> (1990)
	5	Macrae <i>et al.</i> (1993)
Rafinose	1,07	Coon <i>et al.</i> (1990)
	1	Macrae <i>et al.</i> (1993)
Estaquiose	4,23	Coon <i>et al.</i> (1990)
	4	Macrae <i>et al.</i> (1993)
Hemicelulose	9,91	Coon <i>et al.</i> (1990)
Celulose	7,09	Coon <i>et al.</i> (1990)

Jackson (2001) afirma que o bagaço de soja contém aproximadamente 22,7% de hemicelulose, e que estes PNA são virtualmente indigestíveis para os monogástricos, sendo que se verifica uma melhoria do valor alimentar se estes compostos forem eliminados (Coon *et al.*, 1990).

O bagaço de soja tem uma alta concentração de  $\beta$ -mananos, o que tem um efeito fisiológicos negativos nos frangos. Os  $\beta$ -mananos são hidratos de carbono complexos e Piageti (2005) indica uma concentração de  $\beta$ -mananos de aproximadamente 1,3% no caso do bagaço de soja a 48% de proteína bruta. Além disso, este autor considera ainda que se deve ter em atenção o teor de  $\beta$ -galactomananos, o que eleva o valor para a gama de 1,83% a 2,22% (citando Dierick, 1989). As mananas aumentam a viscosidade do digesta, provocando um aumento do IC e piorando os índices zootécnicos.

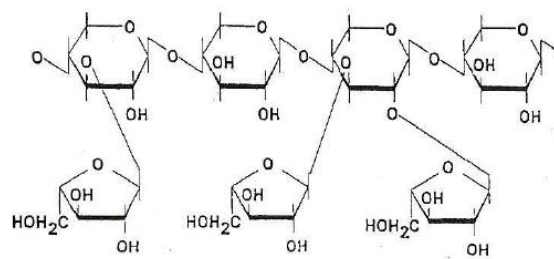
De uma forma mais detalhada Jackson (2001) considera que estes compostos, os  $\beta$ -mananos, provocam uma redução na taxa de absorção de glucose do intestino, diminuindo o metabolismo de hidratos de carbono uma vez que interferem com a secreção de insulina e com a produção de *insuline-like growth factor* (IGF) (citando Nunes e Malmlof, 1992) e provocando uma diminuição da retenção de azoto, da absorção de gordura, do *uptake* de aminoácidos e ainda da absorção de água, o que resulta em humidade excessiva nas camas (citando Kratzer *et al.*, 1967).

Na soja estão também amplamente distribuídos inibidores de proteases e lectinas (outros FAN) que não podem ser degradados pelo sistema digestivo dos monogástricos, nomeadamente dos frangos de carne (Campestrini *et al.* 2005).

### 2.6.2 Arabinoxilanos

Os arabinoxilanos são PNA da parede celular dos grãos de cereais (Moers *et al.*, 2003). São os PNA mais abundantes no milho, enquanto que no caso da cevada e da aveia são os  $\beta$ -glucanos. Os arabinoxilanos são moléculas constituídas predominantemente por duas pentoses:

arabinose e xilose. Na Figura 13 está representada a sua estrutura molecular: polímeros lineares de cadeia longa, formado por unidades de D-xilose, ligadas por ligações  $\beta$  (1-4), com ramificações nas posições 2 e 3 da unidade de arabinose.



**Fig. 13** - Estrutura molecular dos arabinoxilanos;  
(Fonte: <http://www.scientificpsychic.com>)

O seu efeito antinutritivo deve-se a serem facilmente solúveis, conseguindo absorver dez vezes o seu peso em água, originando uma solução viscosa. O seu grau de polimerização e as proporções dos seus constituintes são variáveis e determinam a sua solubilidade e viscosidade (Nunes, 1995). A solubilidade do polímero relaciona-se com as ramificações de arabinose (Francesch, 1996) e também com o tamanho e concentração da molécula.

Os arabinoxilanos influenciam a interação entre substrato e enzima, e causam inibição da digestão de nutrientes, afetando a digestão do amido, da gordura e da proteína (Souza, 2005, citando Choct & Annison, 1992). No caso dos animais jovens, a sua dificuldade em aumentar o consumo de alimento para compensar o efeito diluente da fração fibrosa, prejudica o seu crescimento (Reis *et al.*, 2001).

## 2.7 Enzimas

O conhecimento sobre as enzimas e o seu uso não é recente sendo que Payen e Persoz, em 1833, verificaram que no extrato de malte existia uma substância termolábil que convertia o amido em açúcar, e que foi mais tarde denominada amilase. Apenas mais tarde, em 1878, Küne utilizou o termo enzima para designar as substâncias termolábeis. Já em 1946 o Prémio Nobel da Química foi para James B. Summer, John H. Northrop e Wendell M. Stanley devido às suas descobertas e à obtenção de enzimas no estado puro.

Andrews *et al.* (1962) referem que Fry *et al.* (1958) foram os primeiros a usar enzimas em rações para frangos de carne, tendo os autores relatado que os grãos de cevada humedecidos com água apresentavam um melhor aproveitamento. No mesmo ano estes autores fizeram outro estudo com

---

cevada, desta vez usando uma mistura de enzimas com elevado teor de amilase, o que resultou num melhor aproveitamento pelos animais e, conseqüentemente, um melhor crescimento.

Hoje em dia o termo enzima designa moléculas que catalisam reações químicas em sistemas biológicos. Isto significa que participam em reações de síntese e de degradação do metabolismo animal. São proteínas globulares, de estrutura terciária ou quaternária, que agem como catalisadores biológicos, aumentando a velocidade das reações no organismo, sem serem, elas próprias, alteradas neste processo (Champe & Harvey, 1989; Fireman & Fireman, 1998, citados por Fischer *et al.*, 2002; Campestrini *et al.*, 2005). Campos (2005) define enzimas como moléculas com a propriedade de acelerar determinadas reações químicas, sendo maioritariamente proteínas, e quase exclusivamente constituídas por polipéptidos, mas algumas, para serem ativas, possuem uma parte proteica e uma não proteica – o cofator.

As enzimas, relativamente às moléculas de substrato, apresentam grandes dimensões, o que leva a admitir-se que apenas uma pequena zona da enzima está envolvida no processo catalítico. Este pequeno número de aminoácidos da enzima envolvido no processo catalítico, constitui o centro ativo da enzima, que é o local onde o substrato se liga.

As enzimas podem ser usadas na alimentação animal porque são produtos da fermentação e existem no sistema digestivo, não representando uma ameaça para os animais ou para o consumidor, e permitindo suprir as deficiências em enzimas endógenas dos animais. Desde 1992 que esta prática se tem generalizado na produção de frangos de carne como forma de reduzir os custos da alimentação, visto que permite aumentar a digestibilidade das matérias-primas, melhorar o crescimento e aperfeiçoar a utilização de matérias-primas mais baratas (Dusel *et al.*, 1998; Bedford, 2000; Meng *et al.*, 2005b).

As enzimas podem ser classificadas como enzimas endógenas ou enzimas exógenas. No sistema digestivo encontram-se as enzimas endógenas, que promovem a quebra das moléculas complexas dos nutrientes em moléculas mais simples que podem ser absorvidas pelo organismo. Adicionadas aos alimentos encontram-se as enzimas exógenas, cuja maioria provém da fermentação de bactérias (*Bacillus sp.*) e fungos (*Aspergillus sp.* e *Trichoderma sp.*), mas podem derivar de fontes microbianas, animais ou vegetais. A produção de xinalases através de fungos apresenta-se mais vantajosa uma vez que os fungos sintetizam enzimas extracelulares, que são lançadas num substrato externo, evitando a necessidade da etapa de “rompimento celular” (Haltrich *et al.*, 1996).

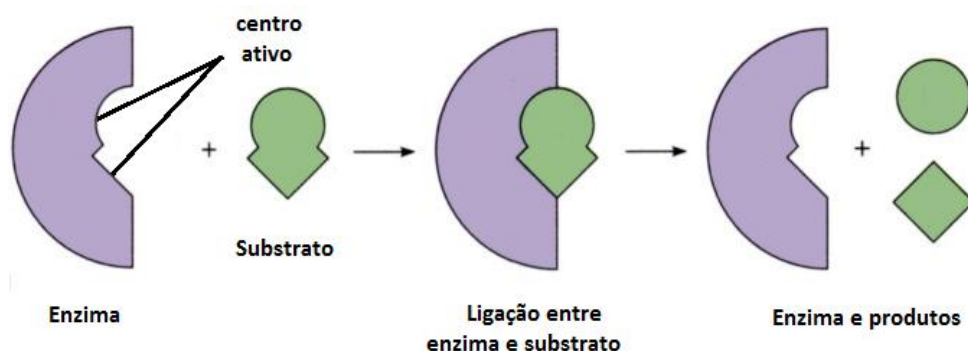
Os pintos, quando eclodem, não dispõem de enzimas para digerir os lípidos e os glícidos, mas já possuem proteases pois estas são ativadas por proteínas que entram no sistema digestivo ainda



durante a fase embrionária. Isto confirma o conceito de que as secreções são estimuladas pela presença de substrato, exceto para aquelas enzimas cujo código genético dos monogástricos não possui indicação para síntese, como por exemplo a celulase, a hemicelulase, a xilanase ou a fitase (Campestrini *et al.*, 2005).

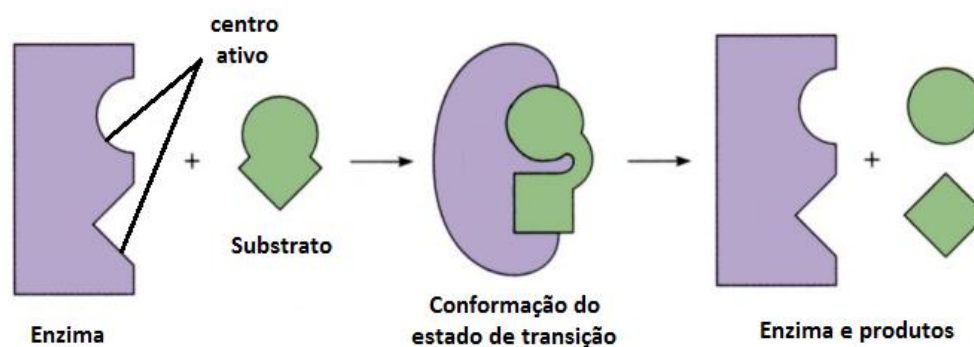
A atividade catalisadora de uma enzima é específica para um determinado substrato e reação. Deste modo, a classificação das enzimas é feita com base no substrato com que reage - especificidade da reação. A elevada especificidade catalítica torna as enzimas diferentes dos outros catalisadores, e a sua especificidade pode ser relativa ou absoluta, consoante atua sobre um grupo de substâncias semelhantes quimicamente ou sobre um único substrato. A enzima combina-se com o substrato e forma-se o complexo enzima-substrato, que resulta do estabelecimento de ligações entre o centro ativo da enzima e os grupos químicos da superfície da molécula de substrato. Depois de catalisar uma reação, as enzimas separam-se dos produtos e ficam disponíveis para uma nova reação.

Ao longo dos anos vários modelos têm sido apresentados para explicar o funcionamento das enzimas sobre os seus substratos. Segundo o modelo de “chave-fechadura”, o centro ativo da enzima tem uma estrutura onde apenas um substrato com forma complementar a esse centro se poderia encaixar (Figura 14):



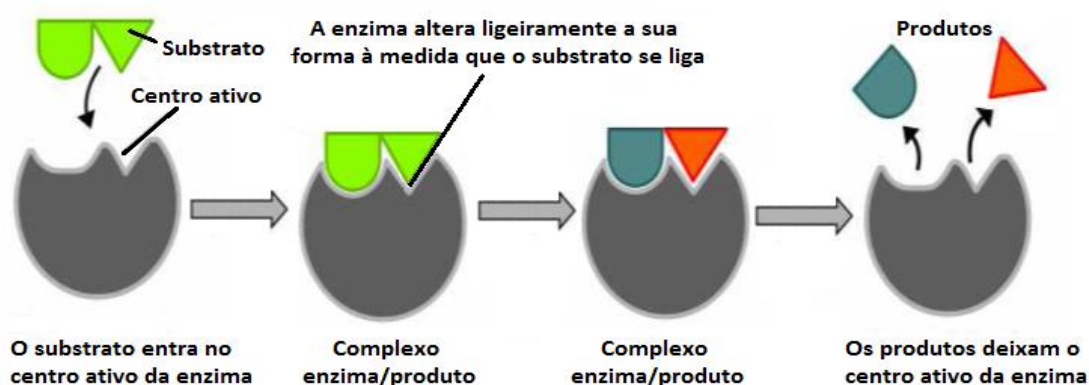
**Fig. 14** - Imagem representativa da ação do modelo chave-fechadura;  
(Adaptado de: <http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html>)

Este modelo não era capaz de explicar o funcionamento de certas enzimas e, em 1959, surgiu o modelo de “encaixe/ajuste induzido” que considera que o centro ativo sofre alterações após a ligação com o substrato (Figura 15):



**Fig. 15** - Imagem representativa da ação do modelo de encaixe/ajuste induzido;  
(Adaptado de: <http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html>)

Recentemente tem vindo a surgir a hipótese de que a enzima induza transformações no substrato e vice-versa, havendo uma interação entre a enzima e o substrato (Figura 16).



**Fig. 16** - Imagem representativa do mecanismo de ação enzimática, com interação entre enzima e substrato;  
(Adaptado de: <http://cvquimica.blogspot.com>)

### 2.7.1 Objetivos do Uso de Enzimas em Alimentação Animal

O interesse pelo uso de enzimas tem vindo a aumentar nas últimas décadas, principalmente devido ao custo cada vez mais elevado de matérias-primas tradicionais, como o milho, forçando os produtores a recorrerem a ingredientes alternativos, tais como o centeio e a cevada, ingredientes de menor valor nutricional.

As enzimas permitem melhorar o valor nutritivo do alimento composto comercial, o que se traduz numa maior flexibilidade na formulação alimentar e numa diminuição dos custos de fabrico devido a uma menor necessidade de integrar matérias-primas mais caras (Bedford, 2003). De forma mais aprofundada, Bertechini *et al.* (2007) referem 4 objetivos distintos que justificam a adição de enzimas exógenas às rações: para remover ou hidrolisar PNA, para aumentar a digestibilidade dos

---

nutrientes, para hidrolisar os PNA solúveis e aumentar a sua digestibilidade e para suplementar as enzimas endógenas (citando Classen, 1996).

A remoção ou hidrólise dos FAN deve-se aos componentes da parede celular dos grãos (como  $\beta$ -glucanos ou arabinosilanos) que possuem um efeito antinutricional nas aves. Quando estes componentes se encontram na sua forma solúvel, levam a um aumento da viscosidade do conteúdo digestivo, interferindo na motilidade e na absorção de outros nutrientes e favorecendo o aparecimento de fezes húmidas e pegajosas.

O uso de enzimas permite aumentar a digestibilidade das matérias-primas pois as limitações destas devem-se, em princípio, a uma quantidade insuficiente de enzimas endógenas, não permitindo que o animal extraia todos os nutrientes dos alimentos. Desta forma, quando a ração é suplementada com enzimas, é possível melhorar a ação massal das enzimas endógenas sobre os ingredientes tradicionais, melhorando o seu valor nutritivo e o desempenho das aves. Simon (1998) sugere que a digestibilidade aumenta com a redução da viscosidade intestinal pois melhora a convecção do conteúdo intestinal, aumenta o contacto entre os nutrientes absorvíveis com a superfície dos enterócitos, e facilita a difusão de substratos, enzimas digestivas e produtos da digestão.

As enzimas exógenas podem ser utilizadas para hidrolisar os PNA que podem, potencialmente, ser utilizados pelos frangos e melhorar a digestibilidade da ração. Nas aves jovens a produção de enzimas endógenas é menor que nas aves adultas, de modo que a digestibilidade dos alimentos é, em geral, menor nos animais jovens e pode ser melhorada através da suplementação com enzimas exógenas. Fischer *et al.* (2002) e Campestrini *et al.* (2005) referem que é possível melhorar os resultados zootécnicos complementando as rações com enzimas exógenas que os animais não conseguem sintetizar.

Além destes objetivos, outro cuja importância tem vindo a aumentar e que se deve considerar é o uso de enzimas com o intuito de diminuir a poluição ambiental. Nos dias de hoje, cada vez mais a produção animal contribui para a poluição ambiental devido aos nutrientes excretados pelas fezes dos animais (Campestrini *et al.*, 2005) e, o uso de enzimas específicas, permite melhorar o aproveitamento de compostos normalmente não digerido e, simultaneamente, diminuir a quantidade de substâncias poluentes nos excrementos como fósforo, zinco, azoto e cobre.

---

### 2.7.2 Fatores que Afetam a Atividade Enzimática

Para se utilizarem enzimas é necessário conhecer os fatores que as afetam. Entre esses fatores são de elevada importância a temperatura, o pH, a concentração de enzima e a concentração de substrato.

A temperatura afeta as enzimas e a sua reatividade, sendo que com uma temperatura baixa as enzimas ficam inativadas, faltando energia para provocar o choque enzimático entre moléculas enzimáticas e substrato. Por outro lado, com o aumento da temperatura consegue-se um aumento da velocidade de reação, havendo uma maior colisão entre moléculas enzimáticas e substrato. Se a temperatura continuar a aumentar, atingirá um valor em que ocorrerá desnaturação da proteína e alteração da configuração do centro ativo da enzima, ficando a mesma inutilizada.

Para todas as enzimas existe um pH ótimo, no qual a atividade catalítica da enzima é máxima. Para pH diferentes destes, há uma redução da atividade e, nos extremos de pH, a enzima pode ser desnaturada.

A concentração da enzima e a concentração do substrato afetam a reação biológica. Havendo substrato disponível, o aumento da concentração de enzima aumenta a reação mas, quando já não há mais substrato disponível para reagir, diz-se “saturada” para a enzima, e o aumento da concentração da enzima não provoca alteração na reação. Se houver enzima disponível, o aumento da concentração do substrato aumenta a reação mas, se não houver enzima disponível para reagir, aumentar a concentração de substrato não altera a reação.

Além destes fatores, a humidade e a presença de coenzimas e inibidores também são importantes e têm que ser consideradas quando se formula uma reação.

Para uma enzima poder ser usada na alimentação animal necessita de: degradar os ingredientes alvo, ser resistente ao baixo pH da moela e do proventrículo, resistir às enzimas proteolíticas e estar ativa ao nível de pH existente no intestino, onde os substratos estão disponíveis para ser atacados. Precisa também de suportar os processos tecnológicos de fabrico do alimento ou, quando isto não acontece, terá que ser adicionada no final do processo de fabrico sobre forma líquida (Bedford, 2000).

Para avaliar a reatividade de uma enzima utiliza-se o termo atividade enzimática, e este é uma medida da taxa de transformação de substrato (ou taxa de reação), ou seja, uma medida da quantidade de substrato transformado (ou produto formado) por unidade de tempo.

---

### 2.7.3 Xilanases

As xilanases são enzimas glicosídicas responsáveis principalmente pela hidrólise da xilana e classificam-se em duas famílias principais – F ou 10 e G ou 11 – das glicosil-hidrolases, sendo que ambas utilizam mecanismos catalíticos de par iônico e retêm a configuração anomérica durante a hidrólise. As xilanases da família 10 são maiores, mais complexas e produzem oligossacáridos menores, enquanto que as xilanases da família 11 são mais específicas para a xilana (Maciel, 2006, citando Jeffries, 1996).

As xilanases exógenas são produzidas essencialmente por fungos e bactérias, que provocam uma quebra parcial das ligações da cadeia dos arabinoxilanos (Leeson e Summers, 2001), permitindo reduzir os efeitos negativos provocados pelos arabinoxilanos nos frangos de carne. Estas quebras promovem a diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo, com consequentes aumentos da digestibilidade e melhores performances dos animais. As xilanases podem agir sobre os arabinoxilanos e melhorar a energia metabolizável (Conte *et al.*, 2002).

A endo- $\beta$ -1,4 xilanase (EC 3.2.1.8) forma o principal grupo de enzimas envolvidas na degradação da xilana e trata-se de uma endo-enzima que hidrolisa aleatoriamente ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  - 1,4 dentro da cadeia de hemicelulose (na cadeia principal da xilana) libertando xilo-oligossacáridos (segundo Maciel, 2006 citando Haltrich *et al.*, 1996 e Kulkarni *et al.*, 1999).

Bedford (2000) e Fontes *et al.* (2004) referem que estas enzimas funcionam por dois modos de ação, nomeadamente promovendo a diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo e alterando o perfil de nutrientes para a microflora do ceco.

Wu *et al.* (2004) referem cinco modos de ação distintos: degradando os PNA da parede celular e libertando os nutrientes encapsulados, promovendo uma diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo no sistema intestinal e, consequentemente, aumentando a taxa de difusão de substratos, enzimas e produtos finais da digestão, melhorando a acessibilidade das enzimas endógenas aos nutrientes, estimulando a mobilidade intestinal e o trânsito digestivo ou ainda suplementando a capacidade enzimática em animais jovens.

### 2.7.4 Estudos com Xilanase

A suplementação com enzimas que degradam PNA em cereais pouco viscosos como o milho não é muito comum (Cousins, 1999). Os resultados da suplementação enzimática em rações à base de milho e bagaço de soja com xilanase têm sido bastante inconsistentes, sendo que a maioria dos estudos são à base de complexos ou cocktails multienzimático, e não apenas de xilanase, e os seus

resultados variáveis, com estudos a apresentaram uma melhoria nas performances zootécnicas dos frangos de carne e outros a não demonstraram nenhum efeito.

Zanella *et al.* (1999) observaram que a adição de um complexo de enzimas comercial, contendo xilanase, amilase e protease (XAP), a uma ração à base de milho e soja resultou numa melhoria significativa do ganho de peso e do IC, como resultado de um aumento da digestibilidade ileal da proteína e da energia metabolizável aparente. Também Café *et al.* (2002), para frangos alimentados com rações à base de milho e bagaço de soja, suplementados com XAP, observaram uma melhoria do conteúdo energético e da digestibilidade da proteína bruta, do amido e da gordura.

Pack e Bedford (1997) mostraram que um complexo multienzimático com XAP pode melhorar o ganho médio diário de peso e o IC em frangos alimentados com uma ração à base de milho e soja (citados por Cousin, 1999). Também Cowieson *et al.* (2008) estudaram o efeito da suplementação enzimática com um cocktail de XAP em rações à base de milho e bagaço de soja e verificaram que as rações suplementadas apresentavam uma melhoria na retenção de cálcio no sistema digestivo. Clementino *et al.* (2002) testaram o efeito de um complexo enzimático XAP nas performances zootécnicas de frangos de carne alimentados com uma ração à base de milho e bagaço de soja e observaram efeitos sobre o ganho médio de peso e o IC, sendo que os animais suplementados com XAP obtiveram melhores resultados (citado por Marques, 2007).

Costa *et al.* (2004) também testaram o efeito de um complexo multienzimático XAP em rações para frangos de carne sobre as suas performances produtivas, rendimento de carcaça e gordura abdominal e observaram que a suplementação com o complexo multienzimático melhorou o IC no período inicial e o consumo de ração na fase de crescimento, mas não teve efeito sobre o rendimento da carcaça nem sobre a gordura abdominal aos 42 dias de idade (citado por Marques, 2007). Nos seus trabalhos, Gracia *et al.* (2003) observaram que a suplementação com um complexo multienzimático à base de xilanase, protease e  $\alpha$ -amilase, aumentou a altura e a superfície das vilosidades intestinais e melhorou o coeficiente da digestibilidade aparente do sistema digestivo dos componentes dietéticos (citado por Gracia *et al.*, 2009). Num outro trabalho, também Gracia *et al.* (2009) relataram um aumento da altura das vilosidades nos animais suplementados, mas sem nenhuma alteração no tamanho dos órgãos do sistema digestivo.

Olukosi *et al.* (2008), utilizando um complexo multienzimático com XAP em rações à base de milho/trigo e bagaço de soja, relataram que a suplementação teve efeitos significativos na composição da carcaça em cálcio e em cinza, mas nenhum efeito na composição em proteína ou gordura. Gracia *et al.* (2009) referem os resultados de Cowieson e Ravindran (2008) e de Yuan *et al.* (2008), os quais suplementaram rações à base de milho e bagaço de soja com um complexo

---

multienzimático à base de XAP. Os primeiros verificaram que a adição destas enzimas era eficaz na melhoria dos parâmetros produtivos, mas a resposta da digestibilidade dos componentes dietéticos era muito limitada, e os segundos observaram melhorias nos parâmetros zootécnicos, na morfometria da mucosa do intestino delgado e também uma redução no peso relativo do pâncreas e do intestino delgado. Também Torres *et al.* (2003) observaram uma melhoria no desempenho zootécnico, nomeadamente um aumento do ganho médio de peso e do IC aos 28 dias, para frangos de carne alimentados com rações à base de milho e bagaço de soja e suplementadas um complexo enzimático XAP.

Cardoso (2009) cita os trabalhos de Cotta *et al.* (2002) e de Souza *et al.* (2008) em que utilizaram, respetivamente, complexos multienzimático de  $\alpha$ -amilase, protease e xilanase e de  $\alpha$ -galactosidade, galactomanase, xilanase e  $\beta$ -glucanase em rações à base de milho e bagaço de soja. Os primeiros autores observaram uma redução no consumo de ração, mantendo o desempenho dos animais e melhorando o IC, e os segundos relataram uma valorização da energia do milho e do bagaço de soja em 2% e 9% para, respetivamente, 200 g e 400 g de enzima adicionada por tonelada de ração, e um aumento na digestibilidade dos aminoácidos de 4% para os dois tratamentos suplementados.

Meng *et al.* (2005a) usaram um complexo enzimático composto de xilanase, glucanase, pectinase, celulase, mananase e galactanase numa ração à base de milho e noutra à base de milho e bagaço de soja, e verificaram que as rações suplementadas apresentavam melhorias não significativas no IC e melhorias significativas a nível da digestibilidade da proteína e dos PNA.

Wang *et al.* (2005) utilizaram um complexo enzimático com xilanase,  $\beta$ -glucanase e com celulase e pectinase como enzimas residuais, mas em rações à base de trigo, e observaram uma melhoria das performances zootécnicas, especialmente no período até aos 21 dias – período de crescimento – e um aumento do teor de ácidos gordos voláteis no ceco. Estes autores verificaram uma redução no tamanho e peso dos órgãos gastrointestinais dos frangos de carne com a suplementação enzimática.

Cowieson *et al.* (2010) estudaram o efeito da suplementação com diferentes doses de xilanase e de glucanase na performance zootécnica e na digestibilidade ileal de nutrientes para frangos de carne alimentados com rações à base de milho e soja. Estes autores observaram uma melhoria no IC e na digestibilidade dos nutrientes no íleo. Verificaram também que o uso de xilanase e de glucanase em simultâneo tinha um efeito superior ao de qualquer uma das enzimas separadamente, mas inferior à soma dos seus efeitos individuais. Marsman *et al.* (1997) estudaram o efeito da adição das enzimas protease e carboidrase a rações para frangos de carne cuja principal fonte de proteína era a soja e observaram uma melhoria da digestibilidade aparente ileal da proteína bruta e dos PNA, mas sem se verificarem melhorias no desempenho (citado por Marques, 2007).

Nian *et al.* (2011b) referem que a suplementação com xilanase numa ração à base de milho e bagaço de soja aumentou significativamente a energia net da ração, verificando um aumento de 18,2% para a energia net de produção, e uma diminuição numérica do IC em 2%. Num outro trabalho, os mesmos autores (Nian *et al.*, 2011b) referem que a suplementação com xilanase aumentou a digestibilidade ileal e da energia em 3% e 6%, respetivamente.

Para rações à base de trigo, Choct *et al.* (1999) (citado por Wang *et al.*, 2005) verificaram que o uso de xilanase resultou numa melhoria da digestibilidade do amido no jejuno e no íleo. Também Dusel *et al.* (1998) verificaram que a suplementação com xilanase em rações à base de trigo levou a uma diminuição da viscosidade ao nível do jejuno e do íleo e a uma melhoria na energia metabolizável aparente e na digestibilidade dos nutrientes.

Cowieson *et al.* (2005) verificaram uma melhoria do IC com a suplementação com xilanase. Estes autores observaram uma diminuição do IC de 1,86 para 1,64 quando rações para frangos de carne à base de milho e bagaço de soja foram suplementadas com xilanase. A digestibilidade da hemicelulase melhorou 2,5% e a digestibilidade da energia ileal aumentou 2,1% com a adição de xilanase, o que resultou numa melhoria numérica do IC (citado por Nian *et al.*, 2011b).

Bedford *et al.* (1998) citam um trabalho de Bedford e Autio (1996) no qual o uso de uma xilanase *Trichoderma* provocou um aumento dos danos na parede celular do endosperma, libertando nutrientes que os animais poderiam aproveitar. Também Parkkonen *et al.* (1997) observaram que a suplementação com xilanase aumenta a permeabilidade da camada aleurona *in vitro* e este aumento da permeabilidade pode melhorar o contacto das enzimas digestivas ou exógenas com os seus substratos. Vários estudos sobre os efeitos da suplementação com xilanase em feijões, ervilhas e tremoços, demonstram que a energia metabolizável verdadeira pode ser melhorada em frangos de carne em crescimento (Wiryawan *et al.*, 1995, citado por Cousins, 1999).

A suplementação enzimática pode também ter uma ação sobre a microflora dos animais. Nian *et al.* (2011b) cita Gao *et al.* (2008) e Engberg *et al.* (2004), que não observaram nenhum efeito significativo sobre bifidobacterias, lactobacilos nem *E. coli* no íleo e cecos de frangos de carne suplementados com xilanase em rações à base de trigo. Por outro lado, Nian *et al.* (2011b), com uma ração à base de milho e bagaço de soja e suplementada com xilanase, verificaram um aumento dos lactobacilos e bifidobacterias no ceco dos frangos. Num outro trabalho, Nian *et al.* (2011a) observaram que a suplementação com xilanase em rações à base de trigo reduziu o número de coliformes e salmonelas nos frangos de carne, aumentou o número de lactobacilos no íleo bem como a contagem de bactérias no ceco, sem qualquer efeito negativo na saúde ou performance dos animais.



---

## 2.8 Objetivo

Para este estudo utilizou-se uma enzima com xilanase bacteriana de origem comercial, tratando-se de uma preparação comercial de uma endo- $\beta$ -1,4 xilanase (EC 3.2.1.8), uma xilanase de origem bacteriana, produzida por *Bacillus subtilis* (LMG S-15136).

A origem bacteriana desta xilanase confere-lhe características particulares relativamente às xilanases de origem fúngica, as mais comuns. Dentro destas características são de referir uma menor sensibilidade aos inibidores da xilanase presentes nos cereais, uma boa estabilidade aos tratamentos térmicos e uma maior afinidade pelos arabinoxilanos dos cereais.

Esta enzima apresenta uma atividade mínima de 100 IU/g, sendo que IU é a quantidade de enzima que liberta uma micromole (1  $\mu$ mol) de açúcares redutores (expressa em equivalentes de xilose) de xilano por minuto a um pH 4,5 e a 30°C.

O uso mais comum e mais estudado da suplementação enzimática relaciona-se com o seu uso em cereais mais baratos, como o trigo, a cevada, ou o centeio, cereais com teores de PNA mais elevados e em que o uso de enzimas permite uma melhor utilização de nutrientes e melhores performance zootécnica. Para rações à base de milho e soja não existem muitos trabalhos relativamente à suplementação com enzimas e aos seus efeitos, pois considera-se que estes são alimentos com poucos FAN e, como tal, com pouca vantagem em ser suplementados.

A suplementação pode ser feita com complexos multienzimático ou com apenas uma enzima, como ocorre no presente estudo. Os estudos sobre os efeitos da suplementação enzimática apenas com xilanase em rações à base de milho e soja são ainda pouco e, ao momento, não são conhecidos ensaios comparando rações de alta e de baixa energia à base de milho e soja, com e sem suplementação enzimática com xilanase.

Tendo isto em consideração, este trabalho pretende avaliar os efeitos da suplementação enzimática com uma xilanase comercial de origem bacteriana em rações à base de milho e bagaço de soja. Pretende-se averiguar se a suplementação com xilanase nestas rações pode melhorar os parâmetros zootécnicos. Além disso, pretende-se averiguar os efeitos da suplementação com uma xilanase tanto para dietas de alta energia metabolizável (muito semelhante às de uso comum na indústria avícola), como para dietas de baixa energia metabolizável, de modo a que se possa compreender em que situações este tipo de suplementação pode, ou não, apresentar vantagens.

### 3. Materiais e Métodos

Para este estudo foi formulada uma dieta à base de milho e bagaço de soja, com base nas especificações nutricionais da Aviagen para a estirpe Ross 308. No Quadro 10 apresenta-se a formulação utilizada para as rações.

#### 3.1 Preparação do Alimento Concentrado

**Quadro 10** - Composição centesimal, química e energética das rações utilizadas;

Ingredientes	Alimento <sup>(1)</sup>	
	Alimento de Alta Energia (%) (Tratamentos AE e AEX)	Alimento de Baixa Energia (%) (Tratamentos BE e BEX)
Milho	45,50	47,90
Bagaço de Soja, 47%	28,20	33,10
Óleo de Soja	4,10	3,07
Soja Integral	10,00	3,70
Sêmea de Trigo	8,00	8,00
DL-Metionina	0,24	0,25
L-Lisina	0,11	0,13
Carbonato de Cálcio	1,40	1,50
Fosfato Dicálcico	1,80	1,70
Sal	0,45	0,45
Premix <sup>(2)</sup>	0,20	0,20
<b>Composição Química Estimada</b>		
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3040	2941
Matéria Seca (%)	84,51	84,15
Proteína Bruta (%)	21,67	21,67
Lisina (%)	1,23	1,23
Metionina (%)	0,56	0,57
AAS <sup>(3)</sup> (%)	0,83	0,83
Ca (%)	1,01	1,02
P disponível (%)	0,47	0,46
Na (%)	0,20	0,20

<sup>(1)</sup> Aos tratamentos AEX e BEX, foram adicionados 100 ppm de xilanase comercial.

<sup>(2)</sup> Premix mineral e vitamínico com a seguinte composição por kg de alimento: biotina 0,5 mg; pantotenato de cálcio 10 mg; calciferol 0,05 mg; cianocobalamina 0,12 mg; ácido fólico 0,5 mg; menadiona 2 mg; ácido nicotínico 30 mg; piridoxina 1,7 mg; retinol 2,7 mg; tiamina 1 mg;  $\alpha$ -tocoferol 20 mg; riboflavina 4,2 mg; Co 0,2 mg; Cu 10 mg; Fe 80 mg; I 11 mg; Mn 100 mg; Se 0,3 mg; Zn 80 mg.

<sup>(3)</sup> Aminoácidos Sulfurados (Metionina e Cistina).

Os tratamentos foram constituídos por uma dieta à base de milho e bagaço de soja, de forma a cobrir as necessidades nutricionais dos frangos e de modo a satisfazer os requisitos de saúde e bem-estar dos frangos de carne. Os regimes alimentares foram distribuídos num arranjo fatorial 2 x 2, composto por dois níveis de energia com ou sem adição de enzima, sendo formulados quatro tratamentos: dois de alta energia – AE e AEX – e dois de baixa energia – BE e BEX – em que a energia dos dois últimos tratamentos era inferior em, aproximadamente, 100 kcal/kg de ração. Para cada tratamento foram feitos lotes de 125 kg de ração e foram adicionados 12,5 g de uma xilanase comercial a um tratamento de alta energia (AEX) e a um tratamento de baixa energia (BEX), segundo a dosagem recomendada.

Os dois ingredientes principais da formulação foram o milho e o bagaço de soja, e estes, juntamente com a soja integral, foram moídos, colocados no misturador e misturados por 3 minutos. Separadamente foi feita a mistura dos outros ingredientes, e foi adicionada a enzima comercial aos tratamentos AEX e BEX. Esta mistura foi depois adicionada aos ingredientes principais no misturador e procedeu-se a uma nova mistura durante 7 minutos. Após este período, a mistura foi arrefecida e armazenada em caixas de plástico.

### **3.2 Aves**

Foram selecionados 160 pintos do dia machos, da estirpe Ross 308. A seleção foi feita com base no PV com o intuito de obter a maior homogeneidade possível. As aves foram anilhadas, pesadas, e alojadas em lotes de 4. Foram feitos 4 tratamentos com 10 réplicas por tratamento e com alimentação *ad libitum*.

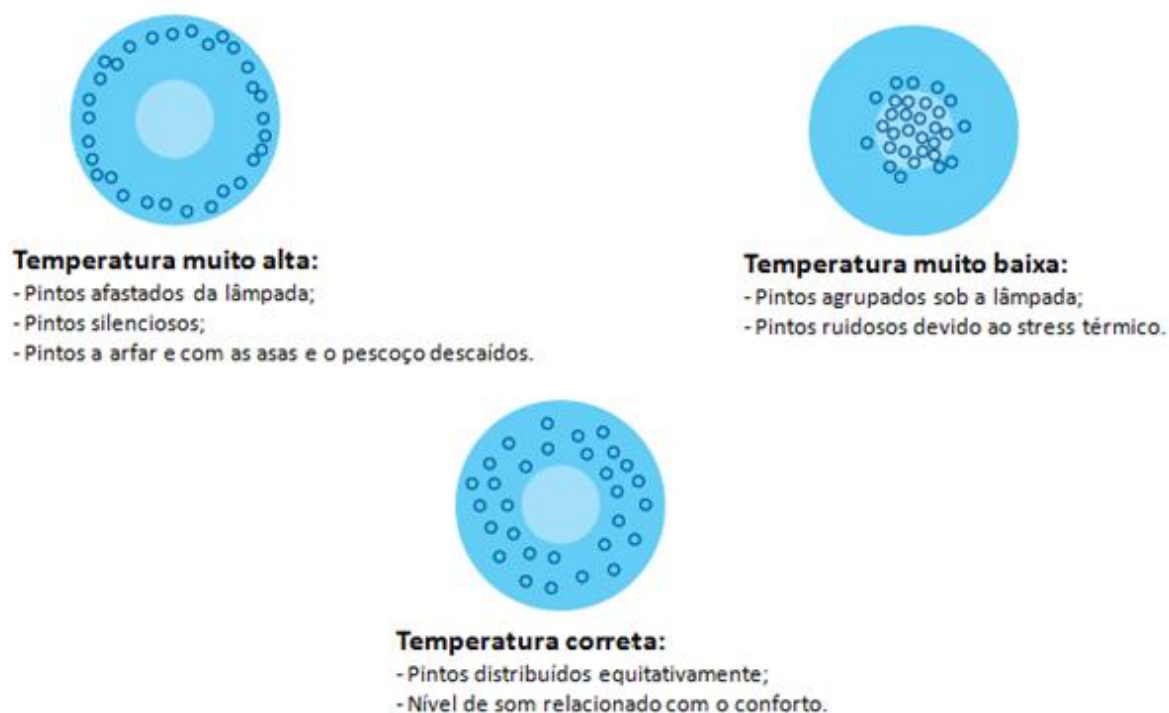
### **3.3 Instalações**

O ensaio durou 28 dias e decorreu nas instalações da secção de Produção Animal do Instituto Superior de Agronomia. A sala possui 40 gaiolas, cada gaiola com uma área de 2750 cm<sup>2</sup> (687,5 cm<sup>2</sup>/ave), 2 bebedouros de pipeta e um comedouro (com uma área de 8,5 cm<sup>2</sup>/ave). A temperatura e a ventilação da sala foram controladas durante o ensaio.

Vinte e quatro horas antes da chegada dos animais iniciou-se o aquecimento da sala de ensaio, obtendo-se uma temperatura da sala entre os 28°C e os 29°C quando os animais entraram. A existência de uma lâmpada de aquecimento de infravermelhos para cada duas gaiolas permitiu controlar a temperatura no interior de cada gaiola para 30°C. Tanto a temperatura da sala como a temperatura dentro da gaiola, junto aos animais, foi sendo monitorizada e diminuída ao longo de todo o ensaio, de acordo com o comportamento dos animais e as recomendações para a estirpe, de

forma a trabalhar-se com uma temperatura ótima. Para manter a temperatura ótima foi necessário substituir as lâmpadas de infravermelhos por lâmpadas de 25 watt ao 8º dia de ensaio, de forma a diminuir a temperatura até à desejada.

O controlo da temperatura foi feita através de termómetros na sala de ensaio e dentro das gaiolas, para monitorizar, respetivamente, a temperatura da sala e a temperatura real junto às aves, e também através de observação do padrão de dispersão das aves (Figura 17 e Quadro 11).



**Fig. 17** - Padrão de dispersão dos pintos sob a lâmpada de aquecimento;  
(Adaptado de: Aviagen, 2009)

**Quadro 11** - Temperatura ótima para frangos Ross, com humidade relativa entre os 60% e os 70%;  
(Adaptado de: Aviagen, 2009)





Idade (dias)	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Temperatura da sala (°C)	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20
Temperatura junto ao pinto (°C)	32	30	28	27	26	25	24	23	22	20

Os diferentes tratamentos foram dispersos aleatoriamente pela sala de ensaio, de forma a minimizar qualquer efeito indesejável que pudesse afetar as performances zootécnicas dos animais. A planificação da distribuição dos tratamentos pela sala de ensaio está representada na Figura 18.

AE 29	AE 30	BEX 31	BEX 32	AEX 33	AEX 34	BE 35	BE 36	AE 37	AE 38	BEX 39	BEX 40
AEX 17	AEX 18	BE 19	BE 20	AE 21	AE 22	BEX 23	BEX 24	AEX 25	AEX 26	BE 27	BE 28

BE 9	BE 10	AE 11	AE 12	BEX 13	BEX 14	AEX 15	AEX 16
BEX 1	BEX 2	AEX 3	AEX 4	BE 5	BE 6	AE 7	AE 8

Tratamentos	Representação	Descrição
Tratamento 1	AE 	Ração de alta energia (controlo)
Tratamento 2	AEX 	Ração de alta energia + 100 ppm xilanase comercial
Tratamento 3	BE 	Ração de baixa energia
Tratamento 4	BEX 	Ração de baixa energia + 100 ppm xilanase comercial

**Fig. 18** - Planificação da sala de ensaios: número da gaiola e tratamento.

### 3.4 Tratamentos e Parâmetros

O ensaio durou 28 dias. Foram utilizados 4 tratamentos com 10 réplicas de cada, num total de 40 animais por tratamento. O tratamento AE consistia numa dieta de alta energia – controlo – e representava uma ração comercial comum à base de milho e bagaço de soja; o tratamento AEX consistia no tratamento AE com adição de uma xilanase comercial; o tratamento BE consistia numa dieta de baixa energia à base de milho e bagaço de soja; o tratamento BEX consistia no tratamento BE com adição da mesma xilanase comercial.

A quantidade de alimento adicionada e a mortalidade foram registadas diariamente e o PV e o consumo de alimento foram registados semanalmente. A partir dos registos diários e semanais calculou-se a quantidade de alimento ingerido, o IC, o ganho médio diário de peso e a mortalidade.

No final do ensaio 10 animais de cada tratamento, o mais pesado de cada gaiola, foram abatidos e foram registadas as dimensões e o peso do duodeno, do jejuno, do íleo e dos cecos. Além disso, foram registados também os pesos do papo, da moela, do fígado e do pâncreas. Para os cecos os dados registados foram o peso dos dois cecos e o comprimento de um ceco.

---

### 3.4.1 Cálculos: Performances de Crescimento

- ✓ **Alimento ingerido:** é calculada pela diferença entre a quantidade de alimento fornecida e a quantidade refugada.

$$\text{Alimento ingerido (g)} = \text{alimento fornecido (g)} - \text{alimento refogado (g)}$$

- ✓ **Ganho médio diário de peso:** razão entre o ganho de peso (g) e o intervalo de tempo (em dias) entre duas pesagens.

$$\text{Ganho médio diário de peso (g/dia)} = \frac{\text{ganho de peso (g)}}{\text{intervalo de tempo (dias)}}$$

- ✓ **Índice de conversão (IC):** é a quantidade de alimento ingerido pelo animal para este aumentar 1 kg de PV. Para este parâmetro foi ponderada a mortalidade.

$$IC = \frac{\text{alimento ingerido (kg)}}{\text{ganho de peso (kg)}}$$

- ✓ **Mortalidade (%):**

$$\text{Mortalidade (\%)} = \frac{n.^{\circ} \text{ animais mortos}}{n.^{\circ} \text{ total de animais}} \times 100$$

- ✓ **Dimensões relativas dos órgãos (g/kg ou cm/kg):** é a relação entre a dimensão dos órgãos do animal e o seu PV.

$$\text{Dimensão Relativa (g/kg ou cm/kg)} = \frac{\text{dimensão do órgão (g ou cm)}}{\text{peso vivo do animal (kg)}}$$

### 3.5 Análise Estatística

Para a análise estatística recorreu-se à análise de variância com dois fatores - a energia da ração, a adição de enzima e a interação entre esses dois fatores - usando o procedimento *General Linear Models* do programa SAS (SAS, 2001). Diferenças entre médias foram consideradas significativas quando  $P < 0,05$ .

## 4. Resultados

### 4.1 Performances Zootécnicas

Em seguida apresentam-se os resultados para o PV, o ganho médio de peso, a quantidade de alimento ingerido (semanal e total) e o IC (semanal e total). Os dados são os valores médios de cada uma das quatro semanas de ensaio e o valor total, organizados por tratamento (AE, AEX, BE e BEX). Também se apresenta a mortalidade (geral e por tratamento e período de tempo) e o peso e comprimento relativo dos órgãos do sistema digestivo.

#### 4.1.1 Peso Vivo

As aves foram pesadas individualmente e semanalmente ou seja, aos 0 dias (no dia de início do ensaio), aos 7 dias, aos 14 dias, aos 21 dias e aos 28 dias (último dia do ensaio). No Quadro 12 apresentam-se os valores obtidos para o PV ao longo do ensaio.

**Quadro 12** - Peso vivo semanal médio dos frangos de carne (g) com diferentes tratamentos<sup>1-2</sup>;

n = 40	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Peso Vivo (g)								
0 dias	45	45	45	45	0,242	0,8985	0,8784	0,9187
7 dias	185	179	181	184	1,171	0,7944	0,3971	0,0480
14 dias	488	480	481	495	3,264	0,5406	0,6832	0,1043
21 dias	954	942	978	1005	7,335	0,0026	0,6205	0,1635
28 dias	1385	1364	1404	1469	11,836	0,0077	0,3445	0,0646

(1) Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).

(2) E: Energia, X: Enzima xilanase, E \* X: Interação entre energia da ração \* enzima xilanase, n: número de observações, P < 0,05.

O PV dos animais foi significativamente influenciado pela energia do regime alimentar ( $P < 0,05$ ), mas apenas para os 21 e os 28 dias (respetivamente  $P = 0,0026$  e  $P = 0,0077$ ), sendo superior para os regimes de baixa energia (BE e BEX).

Não se observaram diferenças significativas de PV entre os tratamentos aos 0, aos 7 e aos 14 dias ( $P < 0,05$ ). A presença de enzima xilanase não influenciou significativamente o PV dos animais em

nenhum período do ensaio mas a interação energia da ração \* enzima influenciou significativamente o PV aos 7 dias ( $P = 0,0480$ ).

#### 4.1.2 Ganho Médio de Peso

O ganho médio semanal e o ganho médio total de peso foram calculados, permitindo analisar os ganhos médios de peso para os períodos dos 0 aos 7 dias, dos 7 aos 14 dias, dos 14 aos 21 dias, dos 21 aos 28 dias, e dos 0 aos 28 dias. No Quadro 13 apresentam-se os valores obtidos para o ganho médio de peso ao longo do ensaio.

**Quadro 13** - Ganho médio de peso dos frangos de carne (g) com diferentes tratamentos<sup>1-2</sup>;

n = 40	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Ganho Médio de Peso (g)								
0-7 d	140,72	133,86	136,70	139,32	1,087	0,5262	0,0195	0,0008
7-14 d	302,31	300,69	299,68	310,36	2,426	0,4169	0,7053	0,0190
14-21 d	468,88	461,51	490,53	510,60	5,307	0,0004	0,9938	0,0651
21-28 d	423,54	421,99	424,64	457,17	7,034	0,3367	0,7179	0,1904
0-28 d	1359,39	1307,13	1358,85	1408,84	12,235	0,0370	0,9625	0,0350
(1) Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).								
(2) E: Energia, X: Enzima xilanase, E * X: Interação entre energia da ração * enzima xilanase, n: número de observações, P < 0,05.								

A energia contida nos regimes alimentares influenciou significativamente o ganho médio de peso para o período dos 14 aos 21 dias ( $P = 0,0004$ ) e para o período dos 0 aos 28 dias ( $P = 0,0370$ ).

Quanto à presença da enzima xilanase, a sua influência no ganho médio de peso dos animais só foi significativa no período inicial do ensaio, respectivamente, entre os 0 e os 7 dias ( $P = 0,0195$ ). Por outro lado, a interação entre energia da ração \* enzima demonstrou uma influência significativa para o período entre os 0 e os 7 dias, para o período entre os 7 e os 14 dias e para o período entre os 0 e os 28 dias (respectivamente  $P = 0,0008$ ,  $P = 0,0190$  e  $P = 0,0350$ ), sendo o ganho médio de peso dos animais superior para os tratamentos de baixa energia suplementados com enzima (BEX).



### 4.1.3 Alimento Ingerido

O alimento ingerido foi calculado semanalmente, obtendo-se então a quantidade de alimento ingerido para os períodos dos 0 aos 7 dias, dos 7 aos 14 dias, dos 14 aos 21 dias, dos 21 aos 28 dias, e dos 0 aos 28 dias (ingestão de alimento total).

Os resultados para o alimento ingerido durante o ensaio encontram-se representados no Quadro 14, indicando a quantidade de alimento ingerido, por semana e total.

**Quadro 14** – Quantidade média de alimento ingerido semanalmente (g) por frango de carne com diferentes tratamentos<sup>1-2</sup>;

n = 10	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Alimento Ingerido (g)								
0-7 dias	137,7	137,3	127,2	133,2	1,945	0,0631	0,4695	0,4066
7-14 dias	376,3	373,3	370,6	378,1	4,258	0,9654	0,8019	0,5537
14-21 dias	647,7	630,8	633,6	671,8	9,469	0,4807	0,5777	0,1546
21-28 dias	820,9	777,6	795,5	823,6	12,269	0,6805	0,7604	0,1577
0-28 dias	1982,6	1918,9	1926,9	2006,7	24,280	0,7444	0,8705	0,1521

(1) Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).

(2) E: Energia, X: Enzima xilanase, E \* X: Interação entre energia da ração \* enzima xilanase, n: número de observações, P < 0,05.

Não se verificaram, durante os 28 dias de ensaio, diferenças significativas na quantidade de alimento ingerida por influência da energia, da adição de enzima xilanase nem da interação entre energia da ração \* enzima ( $P > 0,05$ ). No período dos 0 aos 7 dias, quando se comparou o efeito da energia na ração verificou-se uma tendência ( $P = 0,0631$ ).

Verificaram-se algumas diferenças numéricas (diferenças não significativas) para a quantidade de alimento ingerido. Os frangos de carne alimentados com alta energia (AE e AEX) ao longo do ensaio houve um decréscimo de 3% no consumo total de alimento (entre os 0 e os 28 dias). Por outro lado, para os tratamentos de baixa energia (comparando BEX com BE) observa-se um aumento na ingestão de alimento durante o ensaio (período dos 0 aos 28 dias) de 4,14%.

#### 4.1.4 Índice de Conversão

O IC foi calculado semanalmente, permitindo obter o IC dos animais para os períodos dos 0 aos 7 dias, dos 7 aos 14 dias, dos 14 aos 21 dias, dos 21 aos 28 dias, e dos 0 aos 28 dias (IC total). Os resultados obtidos estão representados no Quadro 16.

**Quadro 15** - Índice de conversão dos frangos de carne com diferentes tratamentos<sup>1,2</sup>;

n = 10	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Índice de Conversão (g)								
0-7 dias	0,99	1,00	0,90	0,94	0,0100	<b>0,0001</b>	0,0916	0,3847
7-14 dias	1,26	1,21	1,25	1,22	0,0090	0,8155	0,0600	0,6882
14-21 dias	1,37	1,35	1,34	1,33	0,0080	0,1566	0,3500	0,7800
21-28 dias	1,92	1,86	2,08	1,83	0,0459	0,4781	0,0892	0,2991
0-28 dias	1,45	1,45	1,46	1,41	0,0103	0,6041	0,1872	0,2262
<sup>(1)</sup> Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).								
<sup>(2)</sup> E: Energia, X: Enzima xilanase, E * X: Interação entre energia da ração * enzima xilanase, n: número de observações, P < 0,05.								

Observaram-se diferenças significativas nos IC dos animais apenas no período dos 0 aos 7 dias de vida, sendo a influência da energia presente na ração significativa para esse período ( $P = 0,0001$ ). Durante os restantes períodos do ensaio, não se verificaram outras diferenças estatisticamente significativas para a influência da energia, da enzima e da interação energia da ração \* enzima no IC dos animais ( $P < 0,05$ ).

Verificou-se um decréscimo numérico no IC para a suplementação com frangos de carne dos tratamentos de baixa energia (comparando BEX com BE) para o período entre os 21 e os 28 dias, tendo diminuído em 12,02%. Para o mesmo período, para os frangos de carne de alta energia (comparando AEX com AE), houve uma redução do IC em 3,13%.

#### 4.1.5 Mortalidade

A mortalidade foi registada diariamente, permitindo elaborar tabelas de mortalidade por tratamento e por período de tempo. Foi também calculada a mortalidade total, relativamente ao período dos 0 aos 28 dias, visto não parecer haver relação entre os tratamentos e a mortalidade.

No Quadro 16 apresentam-se os valores da mortalidade dos frangos de carne durante o ensaio, por tratamento e por período de tempo.

**Quadro 16** – Mortalidade (%) por tratamento e período de tempo, relativamente ao número de animais do tratamento;

		Período				Total
		0 – 7 dias	7 – 14 dias	14 – 21 dias	21 – 28 dias	
<b>Tratamento</b>	<b>AE</b>	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%	2,50%
	<b>AEX</b>	0,00%	2,50%	2,50%	2,50%	7,50%
	<b>BE</b>	7,50%	0,00%	0,00%	2,50%	10,00%
	<b>BEX</b>	2,50%	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%

Não se observaram evidências de que a mortalidade estivesse relacionada com o tratamento em questão. No Quadro 17 apresenta-se os valores da mortalidade (%) por semana e total, sendo que a mortalidade foi mais elevada durante o período dos 0 aos 7 dias.

**Quadro 17** – Mortalidade total (%);

Período	Mortalidade total (%)
0 - 7 dias	2,500%
7 - 14 dias	0,625%
14 - 21 dias	0,625%
21 - 28 dias	1,875%
<b>Total</b>	<b>5,625%</b>

## 4.2 Dimensões dos Órgãos do Sistema Digestivo

O comprimento relativo e o peso relativo dos órgãos foram obtidos no final do ensaio, a partir dos animais abatidos e do seu peso final. Foram abatidos 10 animais de cada tratamento, o exemplar mais pesado de cada gaiola, num total de 40 animais. Os valores apresentados foram calculados relativamente ao PV do animal.

Foram analisados os pesos do papo, da moela, do fígado, do pâncreas, do duodeno, do jejuno, do íleo e dos cecos, e os comprimentos do duodeno, do jejuno, do íleo e de um ceco.

### 4.2.1 Comprimento Relativo dos Órgãos do Sistema Digestivo

No Quadro 18 estão registados os valores do comprimento relativo dos órgãos do sistema gastrointestinal dos frangos.

**Quadro 18** – Comprimento relativo (cm/kg PV) dos órgãos do sistema gastrointestinal de frangos de carne alimentados com diferentes tratamentos<sup>1-2</sup>;

n = 10	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Comprimento Relativo (cm/kg PV)								
Duodeno	17,02	17,29	16,65	16,7	0,333	0,4931	0,8206	0,8741
Jejuno	39,12	39,14	38,75	38,84	0,856	0,8543	0,9761	0,9824
Íleo	41,03	42,08	40,15	41,88	0,801	0,7441	0,4033	0,8364
Ceco	9,51	9,83	9,36	9,69	0,190	0,7281	0,4144	0,9825
(1) Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).								
(2) E: Energia, X: Enzima xilanase, E * X: Interação entre energia da ração * enzima xilanase, n: número de observações, P < 0,05.								

Os resultados obtidos por análise estatística demonstram que o comprimento relativo dos órgãos do sistema gastrointestinal, não foi influenciado pela energia da ração, pela presença de enzima ou pela sua interação.

#### 4.2.2 Peso Relativo dos Órgãos do Sistema Digestivo

No Quadro 19 estão registados os resultados para o peso relativo dos órgãos do sistema gastrointestinal dos frangos.

**Quadro 19** – Peso relativo (g/kg PV) dos órgãos do sistema gastrointestinal de frangos de carne alimentados com diferentes tratamentos<sup>1-2</sup>.

n = 10	Alta Energia		Baixa Energia		SEM	E	X	E * X
	AE	AEX	BE	BEX				
Peso Relativo (g/kg PV)								
Papo	2,92	2,67	2,93	2,84	0,067	0,5158	0,2197	0,5395
Moela	9,88	9,68	10,26	9,55	0,171	0,7256	0,1986	0,4585
Fígado	19,54	21	20,27	19,45	0,257	0,4115	0,5322	<b>0,0273</b>
Pâncreas	2,2	2,02	2,15	2,09	0,038	0,8599	0,1169	0,4608
Duodeno	5,11	4,86	4,54	4,68	0,127	0,1503	0,8293	0,4563
Jejuno	10	10,12	10,11	10,41	0,183	0,6021	0,5896	0,8129
Íleo	8,31	8,05	7,87	8,11	0,159	0,5655	0,9850	0,4477
Ceco	3,17	3,35	3,15	3,47	0,113	0,8368	0,2781	0,7645
<sup>(1)</sup> Os tratamentos consistem de uma dieta de alta energia não suplementada com xilanase (AE) ou suplementada (AEX), e de uma dieta de baixa energia não suplementada com xilanase (BE) ou suplementada (BEX).								
<sup>(2)</sup> E: Energia, X: Enzima xilanase, E * X: Interação entre energia da ração * enzima xilanase, P < 0,05.								

---

Os resultados obtidos por análise estatística demonstram que a interação energia da ração \* enzima influenciou significativamente o peso relativo do fígado ( $P = 0,0273$ ), mas não se verificaram diferenças significativas para nenhum dos outros órgãos. Igualmente, não se verificaram diferenças estatísticas significativas no peso relativo dos órgãos quando houve alteração da energia na ração ou pela presença da enzima xilanase.

---

## 5. Discussão

Com este trabalho pretendia-se compreender melhor se a suplementação com xilanase em rações à base de milho e soja, alimentos considerados pobres em FAN e, mais concretamente, com baixos teores de arabinoxilanos, poderia ser benéfica, melhorando as performances zootécnicas dos frangos de carne e, conseqüentemente, apresentando interesse económico. A principal forma de ação da xilanase baseia-se na redução da viscosidade do digesta causada pela fração de xilanos solúveis, mas também pela diminuição do “efeito prisão” e estimulando bactérias intestinais benéficas, nomeadamente lactobacilos e bifidobacterias, e aumentando o teor de ácidos gordos voláteis.

Existem vários estudos em que o uso de xilanase é combinado com outras enzimas, utilizando-se complexos multienzimático, e esses estudos têm obtido resultados muito variados e de algum interesse mas ainda são poucos os trabalhos sobre o efeito exclusivo da xilanase sobre o milho e a soja.

O milho e o bagaço de soja foram os constituintes principais das rações utilizadas, sendo que os seus FAN eram os que prevaleciam e que mais poderiam afetar as performances dos animais. Como a enzima usada foi uma xilanase comercial, os seus efeitos incidiram sobre os arabinoxilanos do milho, e sobre os arabinoxilanos do bagaço de soja. O uso de xilanasas permite uma diminuição da viscosidade dos conteúdos digestivos uma vez que as cadeias xilanásicas dos PNA, nomeadamente dos arabinoxilanos, são degradadas parcialmente, diminuindo a sua capacidade de formar um gel (Francesh, 1996). A redução da viscosidade permite uma ação enzimática mais eficaz sobre os conteúdos digestivos e uma melhor digestão e absorção de nutrientes, levando a uma melhor utilização da energia e a um melhor desempenho das aves.

As xilanasas também podem provocar quebras parciais das paredes celulares do endosperma ao atacarem os arabinoxilanos, o que resultaria numa maior disponibilidade de amido e proteína que, ao serem aproveitados pelos frangos, permitiriam obter melhores índices zootécnicos (Meng *et al.*, 2005b). Também a libertação de oligossacáridos pela ação da xilanase parece ter um efeito benéfico sobre os microorganismos do íleo e do ceco (Flemming *et al.*, 2012)

Cowieson *et al.* (2008) referem que uma das melhores formas de estudar a resposta dos frangos à suplementação enzimática é através do ganho de peso, uma vez que a carne é o fator de interesse económico na produção avícola. Para este estudo o PV inicial dos animais era idêntico, uma vez que se pretendia uniformidade de bandos e de tratamentos.

Neste ensaio verificou-se que aos 7 dias o PV dos animais foi significativamente influenciado pela interação entre a energia da ração e a enzima. Café *et al.* (2002), para uma ração à base de milho e soja de alta energia, observaram uma melhoria no PV dos frangos cuja ração estava suplementada com um complexo de multcarboidrases, quando comparado com o PV dos animais que consumiram a mesma ração não suplementada. No nosso estudo também se verificaram melhorias no PV dos frangos suplementados com xilanase, mas apenas entre os tratamentos de baixa energia (BE e BEX).

Bertechini (2007) refere que a diferença de energia bruta e energia metabolizável do bagaço de soja se deve ao elevado conteúdo de PNA neste ingrediente, pelo que a ação da xilanase sobre o mesmo poderá ter libertado nutrientes passíveis de serem utilizados pelos frangos de carne.

Yu *et al.* (2007) não obtiveram diferenças no PV de frangos alimentados com uma ração de alta energia à base de milho e bagaço de soja, com e sem suplementação com multcarboidrases e, semelhantemente, também no nosso estudo não se verificaram diferenças significativas no PV dos animais sujeitos aos tratamentos de alta energia com ou sem suplementação com xilanase (AE e AEX).

Aos 21 e aos 28 dias o PV dos animais foi significativamente influenciado pela energia da ração sendo o PV superior nos animais dos tratamentos de baixa energia quando comparados com os animais dos tratamentos de alta energia ( $P < 0,05$ ). Para estes períodos, dos 21 e dos 28 dias, os animais dos tratamentos de baixa energia que consumiram ração suplementada com xilanase apresentavam os PV mais elevados do ensaio. Fontes *et al.* (2004), para rações à base de arroz, cujo teor de PNA também é considerado baixo, referem que os efeitos da suplementação enzimática são mais visíveis após os 21 dias, e este resultado está de acordo com o obtido para as rações com baixo nível de energia suplementada e não suplementada (BE e BEX), sendo que o seu PV difere significativamente aos 28 dias mas o mesmo não se passa com o IC, o que poderá significar que a suplementação enzimática só é necessária a partir dos 21 dias e para os tratamentos de baixa energia.

Neste ensaio observou-se, para os tratamentos de baixa energia (BE e BEX), que o ganho médio de peso dos frangos de carne alimentados com ração suplementada com xilanase foram sempre superiores aos dos animais cuja ração não era suplementada. Para o período dos 0 aos 7 dias, verificou-se uma influência significativa da suplementação com enzima xilanase, bem como da interação entre a energia da ração e a enzima xilanase e, para o período dos 7 aos 14 dias, a ação combinada da energia da ração e da enzima, teve igualmente um efeito significativo no ganho médio de peso.

Relativamente ao período compreendido entre os 14 e os 21 dias, observou-se uma influência significativa da quantidade de energia da ração ( $P < 0,05$ ), sendo que o ganho médio de peso dos frangos de carne dos tratamentos de baixa energia (BE e BEX), independentemente de suplementados ou não com xilanase, foram superiores aos dos animais dos tratamentos de alta energia (AE e AEX). Comparando os tratamentos de alta energia entre si (AE com AEX) e os tratamentos de baixa energia também entre si (BE com BEX), nos animais dos tratamentos de alta energia houve uma diminuição numérica de 7,37 unidades (redução de 1,57%) com a suplementação mas, nos animais dos tratamentos de baixa energia houve um aumento numérico de 20,07 unidades com a suplementação (acréscimo de 4,09%).

Na duração total do ensaio, dos 0 aos 28 dias, o ganho médio de peso foi significativamente influenciado pela ação combinada da energia da ração e da enzima xilanase ( $P < 0,05$ ). Este resultado parece estar de acordo com Cowieson *et al.* (2010) e Gao *et al.* (2008) sendo que Cowieson *et al.* (2010) observaram que frangos alimentados com dietas à base de milho e bagaço de soja, quando suplementados com xilanase e glucanase, apresentavam ganhos médios de peso mais elevados no período dos 0 aos 21 dias, e Gao *et al.* (2008) observaram aumentos dos ganhos médios de peso nos períodos de iniciação e de crescimento (dos 7 aos 21 dias e dos 22 aos 49 dias, respetivamente) ao suplementarem rações à base de trigo com a enzima xilanase.

Neste estudo não se verificou nenhum efeito significativo da energia da ração, da suplementação enzimática com xilanase ou na interação entre energia da ração e enzima sobre a quantidade de alimento ingerido. Francesch (1996) e Fontes *et al.* (2004) descreveram que a suplementação enzimática afeta a digestibilidade do alimento, mas não a quantidade ingerida, resultados que estão em concordância com os obtidos neste estudo.

Por outro lado, neste estudo verificaram-se diferenças numéricas na quantidade de alimento ingerido ( $P > 0,05$ ) e nos tratamentos com rações de alta energia (AE e AEX) observou-se um decréscimo na quantidade de alimento ingerido com a suplementação com xilanase, e nos tratamentos com rações de baixa energia (BE e BEX), um aumento da quantidade de alimento ingerido com a suplementação enzimática. Cotta *et al.* (2002), quando suplementaram uma ração à base de milho e bagaço de soja com um complexo multienzimático de  $\alpha$ -amilase, protease e xilanase, observaram uma redução no consumo de ração, mantendo o desempenho dos animais e melhorando o IC (citado por Cardoso, 2009).

Pettersson and Åman (1989), Bedford (2000) e Wang *et al.* (2005) sugerem que a suplementação enzimática de dietas à base de trigo e arroz com xilanase promove um aumento da quantidade ingerida, resultado que está de acordo com o observado para os tratamentos de baixa energia.



Relativamente ao IC, observaram-se diferenças significativas apenas na primeira semana do ensaio, no período dos 0 aos 7 dias, sendo os resultados significativamente influenciados pela energia da ração ( $P < 0,05$ ) e verificando-se que os animais dos tratamentos de baixa energia (BE e BEX) apresentaram valores de IC inferiores aos dos animais dos tratamentos de alta energia (AE e AEX). Para todos os restantes períodos não se verificou a influência da energia da ração, da suplementação com xilanase, nem da interação desses mesmos fatores.

As diferenças observadas no período dos 0 aos 7 dias poderão igualmente relacionar-se com características inerentes ao desenvolvimento das aves neste primeiro estágio, nomeadamente a transição para uma alimentação sólida e exterior aos frangos de carne, uma vez que os animais transitam de uma alimentação interna, às custas do saco vitelino, para uma alimentação externa à base de ração (Vieira e Moran, 1999). Meng *et al.* (2005b) e Yu *et al.* (2007) apresentaram resultados semelhantes aos deste estudo, não obtendo diferenças no IC nem na quantidade de alimento ingerido entre frangos alimentados com uma dieta à base de milho e bagaço de soja com e sem suplementação com um complexo de multcarboidrases, incluindo a xilanase. Por outro lado, Café *et al.* (2002) e Cowieson *et al.* (2010) obtiveram diferenças significativas para o IC de animais suplementados e não suplementados, bem como Nian *et al.* (2011b) que observaram um aumento de 2% no IC com a suplementação com xilanase numa ração à base de milho e bagaço de soja e também um aumento da energia net da ração. Também Dusel *et al.* (1998) observaram melhorias no IC com a suplementação com xilanase, além de uma diminuição da viscosidade no jejuno e no íleo. Resultados díspares de vários autores demonstram a necessidade de mais estudos para compreender melhor a influência da suplementação enzimática com xilanase no IC dos frangos de carne.

Apesar de não se verificarem diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para os restantes períodos do ensaio observou-se, no período compreendido entre os 21 e os 28 dias, um decréscimo de 12,10% no IC dos frangos de carne suplementados com xilanase. No IC total dos frangos de carne dos tratamentos de baixa energia, não se verificaram diferenças significativas mas observou-se uma diferença numérica de 5 unidades para os animais suplementados com xilanase, uma redução que se reflete em 3,42%. Qualquer um destes decréscimos poderá revelar-se de interesse a nível comercial.

O uso de enzimas exógenas em grãos de alta viscosidade está relacionado com uma melhor velocidade de passagem gastrointestinal do alimento e uma melhor absorção de nutrientes. Estes levam a uma diminuição do peso relativo do sistema digestivo (Pettersson e Åman, 1989; Fuente *et al.*, 1998). O tamanho e o peso relativo dos órgãos do tubo digestivo reflete-se no rendimento da

---

carcaça, e por conseguinte, quanto menor forem estes valores, melhor será o rendimento da carcaça, um parâmetro de elevado interesse económico para os avicultores.

Wang *et al.* (2005) e Cowieson *et al.* (2008) (citando Esteve-Garcia *et al.*, 1997) referem que uma redução no peso e proporção dos órgãos metabólicos ativos foi relatada em animais suplementados com enzimas e que estes órgãos, apesar de geralmente representarem menos de 10% do peso corporal do animal, consomem mais de 50% da energia de manutenção necessária. Segundo Dworkin *et al.* (1996) o aumento do comprimento e peso dos órgãos deve-se ao aumento da viscosidade, que inibe o contacto entre as enzimas digestivas e os seus substratos, levando a modificações significativas da estrutura e função do intestino e dos órgãos (citado por Wang *et al.*, 2005).

Uma redução no comprimento e peso relativo dos órgãos do sistema digestivo com a suplementação enzimática significaria mais energia disponível para objetivos produtivos como o ganho médio de peso e o IC.

A administração de alimento sobre a forma de farinha pode influenciar o desenvolvimento da moela, sendo que há um menor desenvolvimento muscular da moela quando se utilizam partículas finamente moídas (Ribeiro *et al.*, 2002). Para este estudo todos os tratamentos foram administrados na forma de farinha e não se observaram diferenças significativas entre o peso e o comprimento relativo dos órgãos dos frangos de carne dos diferentes tratamentos com exceção do peso relativo do fígado, que sofreu influência da ação conjugada da energia da ração e da enzima xilanase. Esta ação conjugada poderá diminuir o grau de polimerização dos PNA, o que por sua vez provocaria uma diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo e uma menor necessidade de secreção de enzimas por parte do fígado, levando a uma diminuição do peso relativo do mesmo (Wang *et al.*, 2005).

A ausência de diferenças significativas para as dimensões dos restantes órgãos talvez se deva à baixa quantidade de PNA solúveis no milho e no bagaço de soja, não sendo suficiente para diminuir o peso e o tamanho relativo dos órgãos digestivos quando se suplementa com xilanase. Estes resultados estão de acordo com os de Garcia *et al.* (2009) quando a uma dieta à base de milho e bagaço de soja adicionaram um complexo enzimático com XAP.

A diminuição do “efeito prisão” pela abertura da aleurona e do endosperma das paredes celulares, que possuem arabinoxilanos na sua constituição, vai libertar proteínas, amido e gorduras, que podem ser absorvidas pelos frangos de carne, bem como xilo-oligossacáridos, que parecem exercer um efeito positivo nas bactérias intestinais dos frangos de carne. Autores como Yuanyuan *et al.* (2006) e Mei-xia *et al.* (2008) estudaram os efeitos dos xilo-oligossacáridos sobre os frangos de carne alimentados com rações à base de milho e soja e observaram uma diminuição do IC e um

---

aumento do PV. Segundo Choct (2001) a diminuição da viscosidade da ração torna os nutrientes (lípidos, amido e proteínas) mais acessíveis e disponíveis para as enzimas endógenas pois permite uma maior difusão dos substratos e das enzimas digestivas, bem como uma maior interação com a superfície da mucosa intestinal (citado por Brito *et al.*, 2008).

Num trabalho com rações à base de milho e bagaço de soja, Nian *et al.* (2011b) observaram que em frangos de carne suplementados com xilanase houve multiplicação de microrganismos benéficos, como os lactobacilos e as bifidobacterias. Segundo estes autores essa multiplicação poderá indicar que a suplementação com xilanase inibe o crescimento de bactérias patogénicas, tendo um efeito benéfico nos frangos de carne que, por sua vez, resultaria numa melhoria dos parâmetros zootécnicos. Em outros trabalhos com rações à base de trigo, Nian *et al.* (2011a) observaram que a suplementação com xilanase reduziu o número de coliformes e de salmonelas e aumentou o número de lactobacilos no íleo, sem qualquer efeito negativo na saúde ou performance dos frangos de carne. Wang *et al.* (2005) suplementaram rações à base de trigo com um complexo enzimático de xilanase,  $\beta$ -glucanase e também com celulase e pectinase como enzimas residuais, e observaram um aumento dos ácidos gordos voláteis no ceco. Estes trabalhos, apesar de nem todos utilizarem rações à base de milho e soja, parecem demonstrar que a suplementação com xilanase poderá ter alguma ação positiva, promovendo a microflora benéfica e permitindo melhores resultados.

As melhorias verificadas neste ensaio, nomeadamente para as rações de baixa energia suplementadas com xilanase, quando comparadas com a mesma ração não suplementada, parecem não se dever unicamente aos efeitos sobre a viscosidade do digesta, ou seja, sobre a fração de arabinoxilanos solúveis, que é baixa para estas rações, mas também pela hidrólise dos arabinoxilanos insolúveis. A hidrólise dos arabinoxilanos insolúveis pode levar a melhores condições para a colonização por bactérias benéficas (Nian *et al.*, 2011b) e a uma maior libertação de nutrientes considerando que a xilanase hidrolisa polissacáridos que estão envolvidos na encapsulação de amido ou proteína nos grãos de cereais, o que reduz as barreiras à digestão e à utilização de nutrientes (Pettersson *et al.*, 1990; Meng *et al.*, 2005b). Mais estudos são necessários para esclarecer qual ou quais os efeitos presentes nestes resultados.

Por outro lado, as diferenças de resultados entre os tratamentos de alta energia (AE e AEX) quando comparadas com os tratamentos de baixa energia (BE e BEX) poderão dever-se aos FAN inerentes à soja, nomeadamente inibidores de proteases, lectinas e inibidores de tripsina.

A taxa de mortalidade total foi de 5,625% não sendo evidente nenhuma relação entre os tratamentos e a mortalidade. A mortalidade foi mais elevada no período entre os 0 e os 7 dias (2,5%), não parecendo haver nenhum relacionamento direto com os tratamentos, mas sim com a

---

fragilidade das aves após a eclosão. Vieira e Moran (1999) afirmam que a elevada mortalidade neste período entre os 0 e os 7 dias se deve, principalmente, à necessidade dos animais substituírem a sua alimentação proveniente do saco vitelino por uma alimentação sólida e externa, bem como devido às alterações morfofisiológicas dos sistemas digestivos, imunológico e de termorregulação. Por outro lado, a capacidade de suportar essas mudanças relaciona-se, de acordo com Yassin *et al.* (2009), com vários fatores, nomeadamente a genética das aves, a idade dos reprodutores, o peso do ovo e as condições e duração do seu armazenamento, as condições de incubação, como a temperatura e a humidade, o transporte dos pintos do centro de incubação até ao produtor e o tempo de jejum (período decorrido entre a eclosão e a primeira ingestão de alimento).

---

## 6. Conclusões

O uso de enzimas pode levar a um aumento dos custos de produção, pelo que é necessário conhecer bem os seus efeitos, de forma a saber se é rentável e economicamente viável a sua utilização. Desta forma, o custo acrescido que se verifica pela adição da enzima tem que ser suplantado pelo lucro que advém dessa decisão. Esse lucro poderá resultar de uma melhoria nos índices zootécnicos ou por permitir substituir os ingredientes na formulação da ração de forma a minimizar o seu custo, sem prejudicar o valor nutricional da mesma e, como tal, sem afetar negativamente os índices zootécnicos dos animais.

No caso em estudo os resultados demonstram que a suplementação enzimática com uma xilanase em rações à base de milho e soja poderá ser benéfica, nomeadamente nas rações de baixa energia, melhorando o peso vivo dos frangos de carne. O índice de conversão também apresenta melhores resultados quando a ração é suplementada, mas essa melhoria é numérica e não significativa ( $P > 0,05$ ). Estes resultados indicam que as enzimas, nomeadamente a xilanase, podem exercer um efeito benéfico sobre os arabinoxilanos do milho e do bagaço de soja, agindo sobre a fração solúvel e sobre a fração insolúvel dos mesmos.

Como conclusão final pode-se dizer que o uso de xilanase em rações de baixa energia à base de milho e bagaço de soja é vantajosa, mas os seus efeitos parecem mais evidentes para o período entre os 21 e os 28 dias, pelo que pode ser vantajoso estudar o efeito da suplementação apenas num período final bem como verificar os efeitos da restrição da suplementação a períodos específicos.

Seriam interessantes outros estudos que permitissem uma melhor compreensão dos processos envolvidos nas melhorias que se verificaram, nomeadamente testar a viscosidade do digesta e a digestibilidade dos nutrientes no intestino com e sem suplementação.

As melhorias causadas pela suplementação com xilanase em rações à base de milho e bagaço de soja nomeadamente para rações de baixa energia poderiam levar a um aumento do mercado para a própria enzima, bem como ter interesse económico para as unidades de biotecnologia e para os avicultores ao possibilitar melhores performances zootécnicas.

---

## Referências Bibliográficas

- Andrews, I. & Sons; 1962; The effect of damaged starch amylolytic enzymes, and proteolytic enzymes on the utilization of cereals by chickens; British Poultry Science; 89-103.
- Annison, G.; Choct, M.; 1991; Antinutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects; World Poultry Science Journal; 47: 232-242.
- Aviagen; Ross broiler management manual; 2009
- Aviagen; Broiler nutrition specification – Ross 308 broiler: nutrition specification; 2007; June.
- Bailey, R. W.; 1973; Chemistry and biochemistry of herbage; Vol. 1:171.
- Bedford, M. R.; 1993; Mode of action of feed enzymes; Journal of Applied Poultry Science Research; 2: 85 – 92.
- Bedford, M. R.; 1995; Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes; Animal Feed Science and Technology; 53: 145-155.
- Bedford, M. R; 1996a; Interaction between ingested feed and the digestive system in poultry; Journal of Applied Poultry Science Research 5: 86 – 95.
- Bedford, M. R.; 1996b; The effect of enzymes on digestion; Journal of Applied Poultry Science Research; 5: 370 – 378.
- Bedford, M. R.; 2000; Exogenous enzymes in monogastric nutrition – their current value and future benefits; Animal Feed Science and Technology; 86: 1-13.
- Bedford, M. R.; 2002; The foundation of conducting feed enzyme research and the challenge of explaining the results; Journal of Applied Poultry Science Research, 11: 464 – 470.
- Bedford, M. R.; Schulz, H.; 1998; Exogenous enzymes for pigs and poultry; Nutrition Research Reviews; 11, 91-114.
- Bertechini, A. G.; Brito, J. A. A.; 2007; Utilização correta de enzimas em rações de aves; In: AveWorld.
- Boleli, I. C.; Maiorka, A.; Macari, M.; 2002; Estrutura funcional do trato digestório. In: Macari, M.; Furlan, L. R.; Gonzales, E.; editores; Fisiologia Aviaria Aplicada a Frangos de Corte; 2ª Edição Ampliada; Funep; p. 75-96.

- 
- Brito, M.S.; Oliveira, C. F. S.; Silva, T. R. G.; Lima, R., B.; Moraes, S. N.; Silva, J. H. V.; 2008; Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de monogástricos – revisão; Acta Veterinária Brasília, v.3, n. 4, p. 111-117.
- Café, M. B.; Borges, C. A.; Fritts, C. A.; Waldroup, P. W.; 2002; Avizyme improves performance of broilers fed corn-soybean meal-based diets; Poultry Science Association, Inc..
- Campestrini, E.; Silva, V. T. M.; Appelt, M. D.; 2005; Utilização de enzimas na alimentação animal; Revista Eletrônica Nutritime; v.2, n.º 6; Artigo Número 27; p.259-272; Novembro/Dezembro 2005.
- Campos, L. S.; 2005; Entender a bioquímica; 4ª Edição; Escolar Editora; Lisboa.
- Cardoso, D. M.; 2009; Carboidrases em rações para frangos de corte; Unimontes – Universidade Estadual de Montes Claros; Minas Gerais; Brasil.
- Cardoso, D. M.; Maciel, M. P.; Passos, D. P.; Silva, F. V.; Reis, S. T.; Aiura, F. S.; 2011; Efeito do uso de complexo enzimático em rações para frangos de corte; Arch. Zootec. 60 (232): 1053-1064.
- Carvalho, J. C.C.; Bertechini, A. G.; Fassani, É. J.; Rodrigues, P. B.; Pereira, R. A. N.; 2009; Desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja suplementadas com complexos enzimáticos; Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n.º 2, p. 292-298.
- Centeno, M. S. J.; Ponte, P. I. P.; Ribeiro, T.; Prates, J. A. M.; Ferreira, L. M. A.; Soares, M. C.; Gilbert. H. J.; Fontes, C. M. G. A.; 2006; Galactanases and mannanases improve nutritive value of maize and soybean meal based diets for broiler chicks; The Journal of Poultry Science, 43: 344-350; Lisboa; Portugal.
- Choct, M.; 1997; Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance; Feed Milling International; June: 13-26.
- Choct, M.; 2011; Feed polysaccharides: nutritional roles and effect of enzymes; IV CLANA - Congresso Latino Americano de Nutrição Animal; Poultry Cooperative Research Centre, University of New England.
- Choct, M.; Dersjant-Li Y.; McLeish J.; Peisker M; 2010; Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and antinutritive effects in pigs and poultry; Asian-Australasian Journal of Animal Sciences; v. 23, n.º 10, p. 1386-1398.
-

- 
- Conte, A. J.; Teixeira, A. S.; Bertechini, A. G.; Fialho, E. T.; Mubiz, J. A.; 2002; Efeito da fitase e xilanase sobre a energia metabolizável do farelo de arroz integral em frangos de corte; Ciência e Agrotecnologia; V.26, n.6, p. 1289-1296; Novembro/Dezembro; Lavras; Brasil.
- Coon, C.N.; Leske, K.L.; Akavanichan, O.; Cheng, T.K.; 1990; Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters; Poultry Science; 69: 787-793.
- Correia, B. A. F.; 2010; Restrição de suplementação de enzimas em dietas à base de trigo para frangos; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Zootécnica – Produção Animal; Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa; Portugal.
- Cousins, B.; 1999; Enzimas na nutrição de aves; In: I Simpósio Internacional ACAV – Embrapa sobre Nutrição de Aves, 17 e 18 de Novembro de 1999 – Concórdia, Santa Catarina.
- Cowieson, A. J.; Bedford, M.R.; Ravindran, V.; 2010; Interactions between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers; Br Poult Sci. April ;51(2):246-57.
- Cowieson, A. J.; Olukosi, O. A.; Adeola, O.; 2008; Influence of enzyme supplementation of maize-soyabean meal diets on carcass composition, whole-body nutrient accretion and total tract nutrient retention of broilers; British Poultry Science; 49: 436-445.
- Dale, N.; Batal, A.; 2005; Feedstuffs ingredients analysis table: 2005; University of Georgia.
- Dusel, G.; Kluge, H.; Jeroch, H.; 1998; Xylanase supplementation of wheat-based rations for broilers: Influence of wheat characteristics; Journal of Applied Poultry Research; 7: 119-131.
- European Commission – Health & Consumer Protection Directorate – General; 2001; Report of the Scientific Committee on animal nutrition on the safety of the enzymatic product Belfeed B1100 ML for use as feed additive for chickens for fattening.
- Flemming, J.S.; Freitas J. R. S.; Fontoura P.; Maiorca, A.; Montanhini, N. R.; Flemming, D.F.; Arruda; 2012; Uso de mananoligossacarídeos na alimentação de frangos de corte; pt.engormix.com.
- Flemming, J.S.; Montanhini Neto, R.; Arruda, J.S.; Franco, S.G.; Flemming, R.; Souza, G.A.; Flemming, D.F.; 2002; Use of mashed rations with different particle sizes for broilers; Archives of Veterinary Sciences v. 7, n. 1, p. 1-9 .
-



- 
- Fischer, G.; Maier, J. C.; Rutz, F.; Bermudez, V. L.; 2002; Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja, com ou sem adição de enzimas; revista Brasileira de Zootécnia, V. 31, n.º1, p. 402-4010 (suplemento)
- Fontes, C. M. G. A.; Ponte, P. I. P.; Reis, T. C.; Soares, M. C.; Gama, L. T.; Dias, F. M. V.; Ferreira, L. M. A.; 2004; A family 6 carbohydrate-binding module potentiates the efficiency of a recombinant xylanase used to supplement cereal-based diets for poultry; Poultry Science; 45: 648-656.
- Francesh, M.; 1996; Bases de la utilizacion de complejos enzimáticos en avicultura; XVII Curso de especializacion; FEDNA.
- Friesen, O.D.; Guenter, W.; Marquardt, R.R.; Rotter, B.A; 1992; The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick; Poultry Science; 71, 1710–1721
- Frigård, T.; D. Pettersson; P. Åman; 1994; Fiber-degrading enzyme increases body weight and total serum cholesterol on broiler chickens fed a rye-based diet; Journal of Nutrition; 124: 2422 – 2430.
- Fuente, J. M.; Ayala, P. P.; Flores, A.; Villamide, M. J.; 1998; Effect of storage time and dietary enzyme on the metabolizable energy and digesta viscosity of barleybased diets for poultry; Poultry Science; 77: 90 – 97.
- Gao, F.; Jiang, Y.; Zhou, G.H.; Han, Z.K.; 2008; The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat -based diets; Animal Feed Science and Technology; 142:173-184.
- Gracia, M. I.; Lázaro, R.; Latorre, M. A.; Medel, P.; Arabíñar, M. J.; Jiménez-Moreno, E.; Mateos, G. G.; 2009; Influence of enzyme supplementation of diets and cooking-flaking of mize on the digestive trades and growth performance of broilers from one to twenty one days of age; Animal Feed Science and Technology; 150:303-315.
- Hadorn, R.; Wiedmer, H.; Broz, J.; 2001; Effect of an enzyme complex in a wheat-based diet on performance of male and female broilers; Journal of Applied Poultry Research; 10: 340-346.
- Haltrich, D.; Nidetzky, B.; Kulbe, K. D.; Steiner, W.; 1996; Zupancic, S.; Production of fungal xylanases; Bioresource Technol; 58: 137-161.
-

<http://cvquimica.blogspot.com>

<http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/enzimas.html>

<http://faostat.fao.org>

<http://www.arthursclipart.org/medical/digestive/villi%203.gif>

<http://www.aveworld.com.br/>

<http://www.fao.org/>

<http://www.mejoravegetal.criba.edu.ar/>

<http://www.nobelprize.org/>

<http://www.scientificpsychic.com/>

Jackson, M.; 2001; Improving soya utilisation in monogastric: maise-soya diets with  $\beta$ -mannanase; ChemGen Corporation; U.S.A..

Jacob, J.; Pescatore, T.; Cantor, A.; 2011; Avian digestive system; University of Kentucky – College of Agriculture; Lexington, KY.

Larbier, M.; Leclercq, B.; 1994; Nutrition and feeding of poultry; Nottingham University Press; 225-226.

Lázaro, R.; Mateos G. G.; 2008; Necesidades nutricionales para avicultura – normas FEDNA; FEDNA.

Leeson, S.; 2000; Is feed efficiency still a useful measure of broiler performance?; Department of Animal and Poultry Science; University of Guelph; Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; Canada.

Leeson, S.; Summers, J. D.; Caston, L. J.; 1996; Broiler response to diet energy; Poultry Science, 75: 522-528.

Leeson, S.; Summers, J.D.; 2001; Nutrition of the chicken; 4<sup>th</sup> edition; University Books; 5-6, 258-259, 432-437, 480-483; Canada.

Maciel, G. M.; 2006; Desenvolvimento de bioprocesso para produção de xilanases por fermentação no estado sólido utilizando bagaço de cana de açúcar e farelo de soja; Universidade Federal do Paraná; Brasil.

- 
- Marques, S. F. F.; 2007; Biotecnologia enzimática: produção de complexo multienzimático *Trichoderma harzianum* e a sua aplicação na alimentação de frangos de corte; Universidade Federal de Goiás; Escola de Veterinária; Brasil.
- Mateos, G. G.; González-Alvarado, J.M.; Jiménez, E.; Vicente, B.; 2006; Efectos de la fibra dietética en piensos de iniciación para pollitos y lechones; XXII Curso de Especializacion FEDNA; España.
- Mateos, G. G.; Jiménez-Moreno, E.; González-Alvarado, J.M.; Valencia, D. G.; 2007; Estrategias de alimentación en la primera semana de vida del pollito; XXIII Curso de Especializacion FEDNA; España.
- McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A.; 1995; Animal nutrition; 5ª edição; Longman; 562:570 – 572.
- Meng, X.; Slominski, B. A.; 2005a; The nutritive value of corn, soybean meal, canola meal or peas for broiler chickens as affected by a multi-carbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes; Poultry Science; 84, 1242-1251.
- Meng, X.; Slominski, B. A.; Nyachoti, C. M.; Campbell, L. D.; Guenter, W.; 2005b; Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance; Poultry Science; 84: 37-47.
- Mei-xia, S. I.; Fu-bao, L. I.; Hui, W.; Zheng-yi, H.E.; 2008; Effect of xylo-oligosaccharides on the growth performance and immune organs of Huainan chicken; Journal of Hebei Agricultural Sciences; College of Animal Science and Technology; China Agricultural University; Beijing; China.
- Muedra, V.; 1998; Atlas temático – anatomia animal; versão portuguesa; Marina Editores, Lda.; 84-85; Setúbal; Portugal.
- Nian, F.; Guo, Y. M.; Ru, Y. J.; Li, F. D.; Péron, A.; 2011a; Effect of exogenous xylanase supplementation on the performance, net energy and gut microflora of broiler chickens fed wheat-based diets; Asin-Aust. J. Anim. Sci. 24(3):400-406.
- Nian, F.; Guo, Y. M.; Ru, Y. J.; Li, F. D.; Péron, A.; 2011b; Effect of xylanase supplementation on the net energy for production, performance and gut microflora of broilers fed corn/soy-based diets; Asin-Aust. J. Anim. Sci. 24(9):1282-1287.
- Nunes, C.S.; 1995; Enzimas em nutrição animal: conceitos, factos e perspectivas; Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias; 513.
-

- 
- Olukosi, O. A.; Adeola, O.; 2008; Whole body nutrient accretion, growth performance and total tract nutrient retention responses of broilers to supplementation of xylanase and phytase individually or in combination in wheat-soybean meal based diets; The Journal of Poultry Science; 45: 192-198.
- Ott, R. P.; 2005; Utilização de carbohidrases em dietas para frangos de corte; Dissertação para Grau de Mestre em Zootecnia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Faculdade de Agronomia; Porto Alegre; Brasil.
- Parkkonen, T.; Tervila-Wiko, A.; Hopeakoski-Nurminen, M.; Morgan, A.; Poutanen K.; Autio K.; 1997; Changes in wheat microstructure following in vitro digestion; Acta Agric. Scand. B Soil Plant Science; 47:43–47.
- Pettersson, D.; Åman, P.; 1989; Enzyme supplementation of a poultry diet containing rye and wheat; British Journal of Nutrition; 62: 139-149.
- Pintea, V.; Jurubescu, V.; Cotrut, M.; 1977; Contributii la studiul motilitatii esofagului las pasari (gaina); Lucr; Stiint.; 1: 297-310.
- Reis, T. A. F. C.; Dias, F. M. V.; Fontes, C. M. G. A.; Soares, M. C.; Ferreira, L. M. A.; 2001; Avaliação do potencial biotecnológico de xilanases do *Clostridium thermocellum* e *Cellvibrio mixtus*: sua utilização na suplementação de dietas à base de trigo para frangos de carne; Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias; 96 (539): 125-139.
- Revista Alimentação Animal – Número 19; 1999; Uso de enzimas em rações; 1999; Jul/Set/1999; São Paulo; Brasil.
- Revista Alimentação Animal – Número 19; 2000; Fatores nutricionais que afectam a viscosidade intestinal; Jul/Set/2000; São Paulo; Brasil.
- Ribeiro, A. M. L.; Magro, N.; Penz Júnior, A.M.; 2002; Granulometria do milho em rações de crescimento de frangos de corte e seu efeito no desempenho e metabolismo; Revista Brasileira de Ciência Avícola; 4: 41-47.
- Runho, R.C.; Gomes, P. C.; Rostagno, H. S.; Altino, L. F. T.; Lopes, P. S.; Pozza, P.C.; Available phosphorus requirement of male and female broilers from 1 to 21 days of age; 2001; Revista Brasileira Zootecnia; v.30, n.1, p. 187-196.
- SAS Institute, 2001; SAS user's guide: statistics; Version 8.02 ed; SAS Inst. Inc.; Cary; NC.
-

- 
- Silva, C. R., 2008; Uso de probiótico em rações de frangos de corte: desempenho, digestibilidade e energia metabolizável; Dissertação para Grau de Mestre em Zootecnia; Universidade Federal de Viçosa; Minas Gerais; Brasil.
- Simon, O.; 1998; The mode of action of NSP hydrolysing enzymes in the gastrointestinal tract; Journal of Animal and Feed Science, v. 7, p. 115-123.
- Solomon, E. P.; Berg, L. R.; Martin, D. W.; Ville, C.; 1993; Biology; 3ª edição; Hardcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Souza, R. M.; 2005; Uso de complexo enzimático em rações fareladas e peletizadas para frangos de corte; Lavras; Minas Gerais; Brasil.
- Souza-Soares, L. A.; Siewerdt, F.; 2005; Aves e Ovos; Universidade Federal de Pelotas; Brasil.
- Tejedor, A. A.; Albino, L. F. T.; Rostagno, H. S.; Lima, C. A. R.; Vieites, F. M.; 2001; Efeito da adição de enzimas em dietas de frangos de corte à base de milho e farelo de soja sobre a digestibilidade real de nutrientes; Revista Brasileira de Zootecnia; 30 (3):809-816.
- Torres, D. M.; Teixeira, A. S.; Rodrigues, P. B.; Bertechini, A. G.; Freitas, R. T. F.; Santos, É. C.; 2003; Eficiência das enzimas amilase, protease e xilanase sobre o desempenho de frangos de cortes; Ciênc. agrotec.; Lavras; V.27, n.6, p. 1401-1408, nov./dez., 2003.
- Vieira, S. L.; Moran, Jr. E. T.; 1999; Effects of egg of origin and chicks post-hatch nutrition on broiler live performance and meat yields; World's Poultry Science Journal; 55: 125-144.
- Wang, Z. R.; Qiao, S. Y.; Lu, W. Q.; Li, D. F.; 2005; Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology, and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat-based diets; Poultry Science; 84: 875-881.
- Williams, P.E.V.; Geraert, P.A.; Uzu, G.; Annison, G.; 1997; Factors affecting non-starch polysaccharide digestibility in poultry; Morand-Fehr P. (ed.); Feed manufacturing in Southern Europe: New challenges; CIHEAM-IAMZ; 125-134.
- Wu, Y. B.; Ravindran, V.; Thomas, D. G.; Birtles, M. J.; Hendriks, W.; 2004; Influence of phytase and xylanase, individually or in combination, on performance, apparent metabolisable energy, digestive tract measurements and gut morphology in broilers fed wheat-based diets containing adequate level of phosphorus; Poultry Science; 45: 76-84.
-

- Yassin, H.; Velthuis, A. G. J.; Boerjan, M.; Rielt, J. van; 2009; Field study on broilers' first-week mortality; Poultry Science; 88: 798-804.
- Yuanyuan, W.; Yuming, G.; Zhong, W.; Wei, N.; 2006; Effect of XOS on growth performance, intestinal physiology and morphology of broilers; Journal of China Agricultural University; College of Animal Science and Technology; China Agricultural University; Beijing; China.
- Yu, B.; Wu, S.T.; Liu, C.C.; Gauthier, R.; Chiou, P.W.S.; 2007; Effects of enzyme inclusion in a maize-soybean diet on broiler performance; Animal Feed Science Technology; 134: 283-294.
- Zanella, I.; Sakomura, N. K.; Silversides, F. G.; Figueirido; Pack, M.; 1999; Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans; Poultry Science 78:561-568.